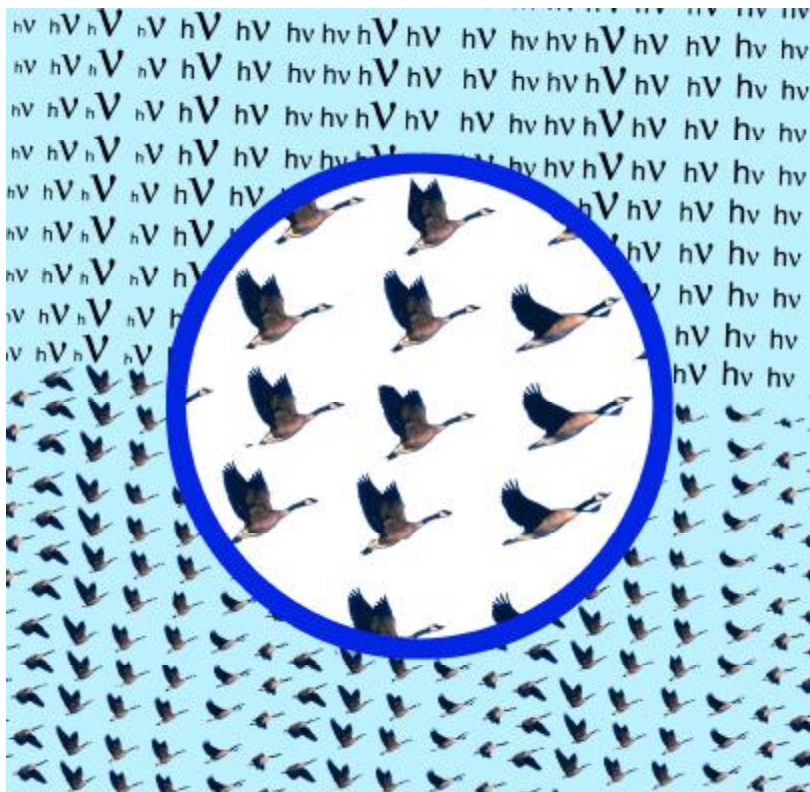


Сусь Б.А.
Сусь Б.Б.

НЕПРИВЫЧНОЕ ТОЛКОВАНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ФИЗИКИ



Киев – 2011

Сусь **Б.А.**
Сусь **Б.Б.**

НЕПРИВЫЧНОЕ ТОЛКОВАНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ФИЗИКИ

Научно-методическое издание
(книга для дискуссий)

Киев
Издательский центр «**Просвіта**»
2011

Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Непривычное толкование традиционных проблемных вопросов физики. Научно-методическое издание. – К.: Просвіта, 2010. – 124 с.

В учебно-методическом пособии дается нетрадиционное рассмотрение традиционных проблемных вопросов физики, которые изучаются в высшей и общеобразовательной школе. В частности, вопрос существования материи в виде вещества и поля и ее перехода с одного вида в другой как формы движения, вопрос релятивистской массы, двойственности природы света как формы движения, которая представляет собой колебания типа энергия-масса-энергия-масса..., вопросы волнового характера волн де Бройля, природы соотношения неопределенностей, непротиворечивого квантового толкования явления дифракции, природы гравитации и другие проблемные вопросы.

Пособие может быть использовано преподавателями высшей школы и учителями для организации самостоятельной работы студентов и учеников над проблемными вопросами физики, организации диспутов и т.п..

Рецензенты:

В.П. Сергиснко – профессор кафедры общей и прикладной физики Национального педагогического университета имени Михаила Драгоманова, доктор педагогических наук, профессор;

А.В. Франив – профессор кафедры экспериментальной физики Национального университета "Львовская политехника", доктор физико-математических наук, профессор

ISBN 978-966-2133-14-1 © Сусь Б.А., Сусь Б.Б. 2010

Содержание

Введение...	6
1. Проблемы релятивистского движения частиц.....	11
1.1. Определение проблемы.....	11
1.2. Вопрос корректности записи формулы для релятивистской массы.....	13
1.3. Движение как свойство материи	17
1.4. Работа по перемещению тела	19
1.5. Связь между массой и энергией	21
1.6. Скорость света.....	23
2. Что же такое свет ?	26
2.1. Свет как поток частиц, которые колеблются	28
2.2. Свет – электромагнитные волны.....	31
2.3. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме..	32
2.4. Основные свойства электромагнитных волн.....	35
2.5. Какие колебания происходят с фотоном ?	40
3. Что такое фотон как частица ?.....	44
3.1. Почему скорость света является постоянной величиной ?	46
3.2. Сохранение импульса (количества движения) при распространении электромагнитных волн.....	47
4. Проблема среды для распространения света.....	49
4.1. Проблемность традиционной интерпретации опыта Физо относительно увлечения эфира телом.....	50
4.2. Опыт Майкельсона относительно увлечения эфира движущимся телом	51
4.3. Расхождение между результатами опыта Физо и Майкельсона.....	55
5. Независимость скорости света от движения системы координат, в которой он распространяется	58
5.1. Отличие между скоростью движения тела и скоростью распространения света.....	59

5.2. Эффект Допплера с точки зрения квантово-колебательной теории света..	64
6. Явление дифракции с точки зрения колебательной природы фотонов	70
6.1. Дифракция как один из видов интерференции ...	72
6.2. Особенности расчета дифракционной картины на основе волнового подхода	74
6.3. Дифракция света с точки зрения квантовых представлений.....	75
6.4. Дифракция на одной щели с точки зрения квантовых представлений.....	79
6.5. Расчет интерференционной картины дифракционной решетки на основе квантовых представлений о свете.....	81
7. Описание дифракционных эффектов на основе квантовой теории света.....	87
7.1. Метод графического сложения амплитуд при дифракции света с точки зрения квантовой теории света.....	87
7.2. Зонные пластинки с точки зрения квантовой теории света.....	91
7.3. Экспериментальное подтверждение квантового трактования явления дифракции.....	95
7.4. Светится ли зона Френеля ?.	97
7.5. Дифракция на прямолинейном крае плоскости с точки зрения квантового подхода.....	98
7.6. Экспериментальная проверка действия зон Френеля.....	99
7.7. Проблемность задач на тему дифракции Френеля.....	100
8. Волны де Бройля с точки зрения колебательного движения материи.....	109
8.1. Электрон в атоме водорода как волна де Бройля	112
9. Квантово-механические явления с точки зрения колебательного движения материи....	142
9.1. Уравнение Шредингера с точки зрения колебательного движения материи	120

9.2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга как следствие колебательного движения материи.....	121
10. Обоснование механизма гравитации.....	127
10.1. Взаимодействие тел через среду.....	128
10.2. Взаимодействие тел вследствие обмена частицами.....	129
10.3. Экспериментальная проверка существования гравитонов.....	133
Литература.....	136
Авторские публикации по теме книги.....	138
Рецензии.....	142

<p>Свет – это колебания электрического и магнитного полей, которые изменяются в одной фазе</p>	<p>Во что превращается энергия фотона в процессе его колебаний ?</p>
---	---

<p>Скорость света – Это фазовая скорость ? Или скорость перемещения массы ?</p>
--

<p>Изменение энергии в электромагнитной волне сопровождается изменением массы фотона: $\Delta W = c^2 \cdot \Delta m$.</p>	<p>Свет – это поток частиц – фотонов, в которых происходят колебания типа $\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$</p>
--	---

Содержание

Введение...	6
1. Проблемы релятивистского движения частиц.....	11
1.1. Определение проблемы.....	11
1.2. Вопрос корректности записи формулы для релятивистской массы.....	13
1.3. Движение как свойство материи	17
1.4. Работа по перемещению тела	19
1.5. Связь между массой и энергией	21
1.6. Скорость света.....	23
2. Что же такое свет ?	26
2.1. Свет как поток частиц, которые колеблются	28
2.2. Свет – электромагнитные волны.....	31
2.3. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме..	32
2.4. Основные свойства электромагнитных волн.....	35
2.5. Какие колебания происходят с фотоном ?	40
3. Что такое фотон как частица ?.....	44
3.1. Почему скорость света является постоянной величиной ?	46
3.2. Сохранение импульса (количества движения) при распространении электромагнитных волн.....	47
4. Проблема среды для распространения света.....	49
4.1. Проблемность традиционной интерпретации опыта Физо относительно увлечения эфира телом.....	50
4.2. Опыт Майкельсона относительно увлечения эфира движущимся телом	51
4.3. Расхождение между результатами опыта Физо и Майкельсона.....	55
5. Независимость скорости света от движения системы координат, в которой он распространяется	58
5.1. Отличие между скоростью движения тела и скоростью распространения света.....	59

5.2. Эффект Допплера с точки зрения квантово-колебательной теории света..	64
6. Явление дифракции с точки зрения колебательной природы фотонов	70
6.1. Дифракция как один из видов интерференции ...	72
6.2. Особенности расчета дифракционной картины на основе волнового подхода	74
6.3. Дифракция света с точки зрения квантовых представлений.....	75
6.4. Дифракция на одной щели с точки зрения квантовых представлений.....	79
6.5. Расчет интерференционной картины дифракционной решетки на основе квантовых представлений о свете.....	81
7. Описание дифракционных эффектов на основе квантовой теории света.....	87
7.1. Метод графического сложения амплитуд при дифракции света с точки зрения квантовой теории света.....	87
7.2. Зонные пластинки с точки зрения квантовой теории света.....	91
7.3. Экспериментальное подтверждение квантового трактования явления дифракции.....	95
7.4. Светится ли зона Френеля ?	97
7.5. Дифракция на прямолинейном крае плоскости с точки зрения квантового подхода.....	98
7.6. Экспериментальная проверка действия зон Френеля.....	99
7.7. Проблемность задач на тему дифракции Френеля.....	100
8. Волны де Бройля с точки зрения колебательного движения материи.....	109
8.1. Электрон в атоме водорода как волна де Бройля	112
9. Квантово-механические явления с точки зрения колебательного движения материи....	142
9.1. Уравнение Шредингера с точки зрения колебательного движения материи	171
	120

9.2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга как следствие колебательного движения материи.....	121
10. Обоснование механизма гравитации.....	127
10.1. Взаимодействие тел через среду.....	128
10.2. Взаимодействие тел вследствие обмена частицами.....	129
10.3. Экспериментальная проверка существования гравитонов.....	133
Литература.....	136
Авторские публикации по теме книги.....	138
Рецензии.....	142

Введение

Физика как наука о природе – самая древняя из наук. Она стала основанием для многих других наук, базой для развития техники, что вместе с физикой определило интенсивное развитие нашей цивилизации. Электротехника, радиотехника, материаловедение, приборостроение, электроника – это те области науки и техники, где физика является неотъемлемой составляющей. Энергетика, физическая химия, биофизика, медицина – области науки, которые имеют непосредственное отношение к существованию самой жизни и в частности жизни человека. Физика дает основание для философии – науки о началах нашего бытия.

С точки зрения философии в бесконечном пространстве Вселенной существует субстанция, которая получила название "материя". Согласно современным представлениям материя находится в непрерывном движении в пространстве и времени и существует в двух видах – вещества и поля. Обычным в жизненном опыте признаком вещественности материи является наличие массы. Масса характеризует инертность тел, т.е. способность сохранять состояние движения. Такую массу в физике называют инертной массой. При непосредственном взаимодействии с другими телами масса изменяет форму движения – ускоряется. Однако масса имеет еще и другое свойство – принимать участие в гравитационном взаимодействии тел. Эту массу называют гравитационной. Считается, что инертная и гравитационная массы эквивалентные.

Другая форма материи – поле. Поля также довольно хорошо изучены в физике. Мы знаем об электрическом, магнитном, электромагнитном полях, о гравитационном поле, о полях ядерного взаимодействия. Благодаря такому

электромагнитному полю как свет мы видим. Электромагнитное поле также является основой радио, телевидения. Электромагнитное поле известно еще как электромагнитные волны, которые распространяются в пространстве с большой скоростью.

Физика непосредственно изучает и вещество, и поле, их движение и взаимодействие. Но не только движение и взаимодействие. Если материя имеет разные виды, то совершенно логично допустить, что должны быть и переходы материи с одного вида в другой. И наверное одной из наиболее фундаментальных проблем физики является понимание процессов взаимного преобразования обоих видов материи – вещества и поля. И в физике такие преобразования одного вида материи в другой хорошо известны. Например, при делении ядра урана масса осколков меньше массы ядра, которое распадается – это так называемый дефект масс. Часть массы ядра исчезает. Однако в природе не может быть абсолютного исчезновения вещества, либо поля. И при делении ядра урана масса не исчезает бесследно, так как при этом появляется электромагнитное излучение – гамма-кванты. Т.е., имеет место переход массы (вещества) в поле. Поскольку электромагнитное поле имеет энергию, то можно говорить о переходе массы в энергию. Вследствие деления ядер урана в ядерной бомбе выделяется огромная энергия. Переход массы в энергию происходит в соответствии с формулой Ейнштейна $\Delta W = c^2 \Delta m$. Известен также обратный процесс – переход поля в вещество. Так, при взаимодействии двух гамма-квантов (поле) появляются две частицы – электрон и позитрон (вещество). Однако следует отметить, что эти взаимные переходы вещества (массы) в поле (излучение) и поля в вещество известны в физике как какие-то отдельные проявления, как что-то частное, а не как естественное свойство материи, как форма ее движения. Нам хорошо

известны такие формы движения тел (вещества) как поступательная, вращательная, колебательная. И при изменении формы движения происходит переход одного вида энергии в другой. Например, при колебательном движении кинетическая энергия периодически переходит в потенциальную и наоборот. Поэтому было бы удивительно, если бы не существовала еще одна форма движения – форма движения материи – переход материи с одного ее вида в другой как непрерывный колеблющийся процесс, т.е. переход вещества в поле и поля – в вещество. Идея пульсации массы как формы существования материи высказывалась А. Эйнштейном при создании общей теории относительности: "материя флуктуирует, генерируя гравитационные волны, которые распространяются со скоростью света" (Меллер Х. Теория относительности. - М.: Наука, 1966. - 462 с.). Есть все основания считать такую форму движения обоснованной, что и обсуждается в данном пособии.

Природа – по нашим нынешним представлениям – имеет двойственный характер. Двойственность природы материи проявляется во многих физических явлениях, особенно в области микромира. Но от самого начала осознание понятия двойственности – от начала прошлого столетия и к нынешнему времени – является долговременной нерешенной проблемой. Особенно это касается поля в виде электромагнитных волн. Электромагнитные волны, в частности свет, очень выразительно выявляют как волновые свойства (т.е. полевые), так и корпускулярные (вещественные). Суть этой проблемы в том, что согласно традиционным представлениями волна не может быть в одно и то же время и частицей и волной. Так как волна – явление пространственное, а частица локализована. Вместе с тем, вывод о том, что микрочастица, которая движется с большой скоростью, одновременно является волной – так называемой волной де Бройля – является

полностью обоснованным. На основе представлений о волнах де Бройля созданы и успешно используются в науке, технике и хозяйственной деятельности хорошо известные электронные микроскопы. Волны де Бройля стали фундаментальным понятием в квантовой механике, которая с огромным успехом объясняет физические процессы и явления в области микромира.

Однако проблема двойственности остается нерешенной на протяжении сотни лет. Как и 100 лет назад невозможно вообразить, как частица, которая локализована в малом объеме, одновременно может быть волной (т.е. является явлением пространственным). Физики привыкли к этим разногласиям и все объясняется как и сто лет назад – ну такой он этот микромир !

Но логическое и понятное объяснение должно быть. Если этого нет – значит что-то не так с нашими представлениями о физических явлениях и процессах, что-то не так с формированием понятий и с терминологией, которая выражает понятия. Над этим нужно работать.

Проблема противоречия существует. В пособии дается обоснованное непротиворечивое толкование проблемы дуализма, перехода материи с одного ее вида в другой, проблемы двойственности природы света в частности и электромагнитных волн вообще.

Пособие может быть полезным преподавателям для создания проблемных ситуаций и альтернативных подходов, а также студентам для самостоятельной работы при изучении физики.

Если материя
 пребывает
в разных видах,
то должны быть
и переходы материи
из одного вида
 в другой

1. ПРОБЛЕМЫ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ

1.1. Определение проблемы

Под релятивистским движением тел понимают движение с большими скоростями, когда проявляется зависимость массы от скорости. В научной и особенно в учебной литературе нет однозначного понимания процессов, связанных с релятивистским движением. Проблемными являются как формулирование научных понятий, так и терминология, которая их выражает. В связи с этим возникает необходимость последовательного рассмотрения этих вопросов с надлежащим обоснованием.

В школьных учебниках, в пособиях для высшей школы, в энциклопедической и научной литературе утверждается, что масса тела (частицы) зависит от скорости по известной из теории относительности формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (1)$$

где m_0 – так называемая **масса покоя**, т.е. масса, определенная в неподвижной системе координат, а m – **релятивистская масса**, определенная в системе отсчета, которая равномерно движется со скоростью v по отношению к неподвижной системе [1-6].

Формула (1) связывается с исследованием движения электронов в магнитном поле и она имеет экспериментальное подтверждение. Этот эффект используется при построении ускорителей заряженных частиц и широко отражен в учебной литературе. Впервые зависимость массы от скорости движения была выявлена и изучена в опытах немецкого физика В. Кауфмана в 1899-1906 г. и

потом подтверждена многими физиками. Кауфман измерял отклонение β -лучей радия (быстрых электронов) в магнитном и электрическом полях и обнаружил, что величина удельного заряда электрона, т.е. отношение его заряда к массе, при увеличении скорости электронов уменьшается. Поскольку заряд электрона не изменяется, то это означает, что масса электрона при увеличении скорости возрастает.

Вопрос зависимости массы от скорости для физиков, которые работают с ускорителями заряженных частиц, не считается проблемным. Однако отношение к вопросу зависимости массы от скорости среди научных работников в наше время не является однозначным и формула (1), которая определяет эту зависимость, отрицается. Такие альтернативные мысли высказаны в работах [7, 8].

Нет также однозначности в понимании зависимости между энергией и массой тела:

$$W = c^2 \cdot m, \quad (2)$$

которая является фундаментальным выводом теории относительности. В теории относительности традиционно под релятивистской массой m понимают общую массу, которая включает в себя массу покоя m_0 и приобретенную массу вследствие возрастания скорости. Другие научные работники считают, что в формулах (1) и (2) масса m – это только масса покоя (т.е. m_0), а энергия W – энергия покоя ($W = W_0$). Автор [7, 8] целеустремленно исследует этот вопрос и приходит к выводу, что понятие "релятивистская масса" является архаическим, а термин "масса покоя" вообще лишний, поэтому вместо выражения "масса покоя" (m_0) нужно говорить просто о массе тела m , которая не зависит от движения системы отсчета. Автор [7, 8] объясняет, что *"понятие массы, зависимой от скорости, возникло в начале XX столетия в результате "неза-*

конного" распространения ньютоновского соотношения между импульсом и скоростью на область скоростей, сопоставимых со скоростью света, в которой оно несправедливо", и что "на конец XX столетие с понятием массы, зависимой от скорости, пора полностью распрощаться".

Следует отметить, что эти мысли изложены в двух больших статьях и они основываются главным образом на анализе проблемы в историческом аспекте со ссылкой на авторитеты. Однако в этих статьях, к сожалению, не хватает последовательного авторского анализа и физической аргументации проблемы, отсутствует сопоставление выводов с существующими данными исследований относительно зависимости удельного заряда частицы от скорости движения. Отсутствует также объяснение работы ускорителей заряженных частиц в духе высказанных в статьях идей.

Таким образом, существует необходимость обоснования зависимости или независимости массы тела от скорости.

1.2. Вопрос корректности записи формулы для релятивистской массы

Покажем, что в представлении (1) заложен элемент некорректности, поэтому необходимо несколько другое прочтение этой формулы.

Представим, что за телом ведется наблюдение из нескольких инерциальных систем координат, которые движутся относительно тела с разными скоростями. Например, тело находится в самолете, который движется со скоростью v_1 по отношению к Земле. Пусть для наблюдателя, который находится в этом же самолете, скорость тела $v_0 = 0$. Для другого наблюдателя, который находится

на Земле, скорость тела будет v_1 . Еще один наблюдатель едет в поезде и видит движение тела со скоростью v_2 . С точки зрения наблюдателей получается, что тело одновременно движется с разными скоростями, значит его масса, в соответствии с формулой (1), имеет разные значения. Однако масса тела является мерой его вещественности и она не может зависеть от того, кто за телом наблюдает. Поэтому можно согласиться с утверждением [7, 8], что масса тела не зависит от системы координат, в которой она находится.

Таким образом, есть основания утверждать, что проблема неоднозначности толкований зависимости или независимости массы от скорости имеет в значительной мере методический характер. Т.е., что-то здесь не так названо, поэтому нет однозначного понимания явления.

Для того, чтобы устранить проблему, необходимо скорректировать прочтение формулы. Дело в том, что **когда мы хотим рассматривать движение тела в разных системах координат, то тело нужно перевести в ту или другую систему, а это значит, что необходимо реально изменить его скорость.** Для этого на тело нужно подействовать силой, так как изменение **скорости** от 0 до v происходит вследствие ускорения. Поэтому в формуле (1) символ v на самом деле означает не скорость, а изменение скорости: $\Delta v = v - v_0 = v - 0 = v$ и соответствующее изменение $(\Delta v)^2 = v^2$. Формула (1) формально является правильной, но корректная ее запись имеет вид:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(\Delta v)^2}{c^2}}} . \quad (3)$$

При таком представлении зависимости массы от скорости разногласия отсутствуют, поскольку речь идет об

изменении скорости при переходе тела из системы, где его скорость равная нулю, в другую систему со скоростью v . Если для каждого из наблюдателей скорость тела разная, то изменение скорости, если оно происходит, для всех наблюдателей будет одинаковым.

Для изменения скорости необходимо над телом выполнить работу, а это значит, что **необходимо изменить его энергию**. И не только энергию.

Если мы хотим
рассматривать движение
тела
в разных системах
координат,
это тело нужно перевести
в ту или другую систему,
а это значит,
что необходимо реально
изменить его скорость

Характеристикой движения
является **количество**
движения K .

Это то, что перемещается

– масса m ,

– и как оно перемещается –

скорость v :

$$K = mv.$$

1.3. Движение как свойство материи

Рассмотрим более детально движение тела в пространстве и во времени, исходя из общих наших представлений о природе.

Движение тела (частицы) – это перемещение вещества в пространстве и во времени. Характеристикой вещества (тела, частицы) является масса m , а характеристикой перемещения – скорость v . Таким образом, характеристикой движения является то, что перемещается – масса m , и как оно перемещается – скорость v . Такой характеристикой может быть **количество движения**:

$$K = m \times v.$$

Заметим, что согласно принятой терминологии количество движения часто называют импульсом. Этот термин вряд-ли можно считать удачным, так как импульс означает толчок, удар, в результате чего изменяется характер движения. Если тело движется свободно, то никакого толчка нет и тело имеет определенное количество движения. Толчок (импульс) возникает при взаимодействии тела с другим телом. Если два тела движутся с разными скоростями, то при столкновении происходит толчок и **изменение количества движения** dK во времени. Чем больше времени длится толчок, тем большее изменение количества движения. Поэтому можно записать:

$$dK = F dt. \quad (4)$$

Изменение количества движения за единицу времени называется силой, которая действует на тело:

$$F = \frac{dK}{dt}.$$

В механике Ньютона считается, что масса в процессе движения не изменяется ($m = const$). Тогда

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt}.$$

Однако в результате действия силы выполняется работа и изменяется энергия тела, а согласно теории относительности между энергией и массой существует связь:

$$W = c^2 m.$$

Это значит, что при изменении энергии изменяется масса. Поэтому сила

$$F = \frac{dK}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}.$$

Итак, при действии на тело силы могут изменяться его скорость и масса. Таким образом, действуя на тело, сила выполняет работу:

$$\begin{aligned} dA &= F dx = \\ &= \left(m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \right) \cdot dx. \end{aligned} \quad (5)$$

где dx – перемещение тела под действием силы.

Как видим, работа силы идет **на изменение скорости** и сообщение телу кинетической энергии, а также **на изменение массы тела**.

Отметим, что традиционно в учебной литературе необоснованно утверждается, что работа силы, которая ускоряет тело, идет только на сообщение ему кинетической энергии и не берется во внимание, что

работа также идет на создание **динамической массы** тела [9. – С. 30].

1.4. Работа по перемещению тела

Используя (5), найдем работу при перемещении тела на некоторое расстояние x :

$$\begin{aligned} A &= \int dA = \int_{x_o}^x \left(m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \right) dx = \\ &= \int_{x_o}^x m \frac{dv}{dt} dx + \int_{x_o}^x v \frac{dm}{dt} dx . \end{aligned}$$

Учтем, что $dx = v dt$ и сделаем замену переменных:

$$\begin{aligned} A &= \int_{v_o}^v m \frac{dv}{dt} (v \cdot dt) + \int_{m_o}^m v \frac{dm}{dt} (v \cdot dt) = \\ &= \int_{v_o}^v m v \cdot dv + \int_{m_o}^m v^2 dm = m \frac{v^2}{2} \Big|_{v_o}^v + v^2 m \Big|_{m_o}^m = \\ &= \left(m \frac{v^2}{2} - \frac{m v_o^2}{2} \right) + v^2 (m - m_o) = \\ &= m \left(\frac{v^2}{2} - \frac{v_o^2}{2} \right) + v^2 (m - m_o) . \end{aligned} \tag{6}$$

Итак, работа по перемещению тела

$$A = m \frac{\Delta(v^2)}{2} + v^2 (\Delta m). \quad (7)$$

Как видим, связь между массой и энергией имеет универсальный характер.

В результате действия силы происходит изменение кинетической энергии и изменение массы тела Δm . Это значит, что работа силы идет не только на сообщение телу кинетической энергии, но также на создание динамической массы.

Релятивистская масса, таким образом, в традиционном представлении является не чем иным, как суммарной массой, которая равна сумме массы покоя и динамической массы (т.е. приобретенной массы вследствие ускорения).

Работа силы
по перемещению тела
идет на сообщение ему
кинетической энергии
и на изменение массы
тела

1.5. Связь между массой и энергией

Обратим внимание также на прочтение формулы

$$W = c^2 \cdot m \quad (2')$$

(см.ф-лу (2)). Есть разные ее толкования. Так, существует утверждение [7, 8], что в формуле (2') масса m является массой покоя ($m = m_o$), а энергия W – энергией покоя ($W=W_o$). Известно также традиционное трактование, что эта формула выражает эквивалентность массы и энергии. Очевидно, что здесь имеет место определенная некорректность, так сказать методического характера, поэтому необходимо прийти к одинаковому пониманию. В физике известно понятие **дефекта массы**, которое дает возможность сделать наглядным прочтение формулы (2'). При делении тяжелого ядра урана масса ядра не равна массе осколков, на которые распадается ядро. Зато появляется γ -излучение, которое имеет энергию. Таким образом, "исчезает" масса, но "возникает" энергия в соответствии с формулой (2'). Итак, речь идет об **изменении массы и энергии**, которые должно быть отображено в формуле. Поэтому совершенно логически формулу (2') записывать в виде:

$$\Delta W = c^2 \cdot \Delta m. \quad (7)$$

Это означает, что при изменении массы тела происходит соответствующее изменение энергии. И наоборот – при изменении энергии происходит изменение массы тела. Таким образом, мы приходим к выводу о существовании еще одной формы движения материи. Эта форма движения не является новой, она хорошо известная в физике в виде

частных случаев. Однако она не рассматривается как проявление **фундаментального физического явления**, которое отображает свойство материи не только существовать в двух видах – вещества и поля, но также **переходить из одного вида в другой**. Причем, такие взаимные переходы должны бы существовать как непрерывный процесс.

При изменении энергии
происходит изменение массы
тела. И наоборот.

Мы приходим к выводу
о существовании такой
формы движения материи
как непрерывного процесса.

1.6. Скорость света

Релятивистское движение тел связано со скоростью света. Скорость света является константой и входит в формулы (1) и (2) для массы и энергии:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad W = c^2 \cdot m.$$

Поскольку свет имеет двойственную природу – это волны и частицы (фотоны) одновременно, то в связи с этим возникает вопрос: чем является скорость света ? Это скорость перемещения вещества (массы), или скорость распространения фазы электромагнитных волн ? Если c – фазовая скорость, то какое она имеет отношение к скорости тела, которое представляет собой вещество ? Если же c – скорость перемещения частицы (фотона), то какое отношение имеет фаза как характеристика колебательного процесса, к перемещению фотона как частицы ?

Эти вопросы являются проблемными и на них необходимо дать ответ. Нужно найти доступное объяснение двойственности природы света.

**Чем является
скорость света ?
Это фазовая скорость ?
или скорость
перемещение массы ?**

Скорость света
является двуединой
характеристикой
— одновременно это
скорость перемещения
массы и скорость
распространения
постоянной фазы
частицы, которая
колеблется

Всю жизнь я буду
думать о том,
что такое свет

Альберт Ейнштейн

2. ЧТО ЖЕ ТАКОЕ СВЕТ ?

Вопрос о природе света был актуальным 100 лет назад, но остается нерешенным и по сей день. Известно, что свет имеет двойственную природу – это волны и частицы одновременно. То, что свет – волны, неопровержимо доказывается характерными для волн явлениями интерференции, дифракции. А явления фотоэффекта, давления света, одностороннего распространения фотонов (опыт Боте) свидетельствуют о корпускулярных свойствах света.

Корпускулярность света очень наглядно подтверждается опытом Боте [10. – С. 38]. Под действием рентгеновских лучей небольшой интенсивности с частотой ν_1 атомы фольги Φ в результате флуоресценции переизлучают фотоны с энергией $h\nu_2$ (рис. 2.1) .

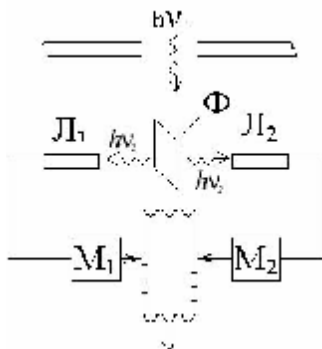


Рис. 2.1.

Эти кванты вторичного рентгеновского излучения фиксируются счетчиками L_1 и L_2 по противоположным сторонам металлической фольги Φ с помощью записывающих механизмов M_1 и M_2 . Срабатывание механизмов M_1 и M_2 происходит не одновременно, как это должно было бы быть, если бы от атома распространялась во все

стороны волна, а независимо и в беспорядке. Это означает, что атом излучает фотон как частицу, которая имеет импульс \vec{p} и движется в одном направлении.

Таким образом, одиночный акт излучения атома нельзя трактовать как волну, которая распространяется во все стороны. Тем не менее традиционно при рассмотрении явления дифракции света понятие точечного источника излучения и сферической волновой поверхности используется во всех общеизвестных учебных пособиях без каких-либо предостережений [11,12,13].

Однако проблема в том, что свойства фотона быть волной и частицей одновременно – являются противоречивыми, поскольку частица локализована, а волна – явление пространственное. Поэтому одновременно быть локализованным в малом объеме и быть в пространстве – взаимно несовместимые понятия. Кроме того, **признаком вещественности материи, ее корпускулярности является наличие массы**, а в научной литературе представления о массе фотона, как уже отмечалось, неоднозначные и противоречивые, так как одни авторы считают, что фотон массы не имеет вообще, а другие – что он не имеет массы покоя, но имеет релятивистскую массу.

Традиционно в учебной литературе считается, что **фотон имеет массу и поэтому является частицей**. Правда, это так называемая релятивистская масса, связанная с движением, тогда как масса покоя фотона равна нулю [10. – С. 40; 14. – С. 373]. Другими авторами отрицается наличие массы у фотона вообще [7, 8]. Тогда с **такой точки зрения фотон даже нельзя считать частицей**. Очевидно, есть проблемы с терминологией, а это уже вопрос методического характера. Необходимо определиться, что мы называем частицей (телом).

С другой стороны, нет сомнения, что свет – это волны, которые распространяются с максимально воз-

можной скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Однако какие-либо волны распространяются в среде, а для света такой среды (например, эфира), как показано на основе опытов Майкельсона, не существует. Поэтому непонятным является само понятие фотона-частицы как волны. Так, употребляется выражение "фотон такой-то частоты", т.е., считается, что фотон – это частица, для которой присущи колебания определенной частоты. Однако нет никаких объяснений относительно природы и механизма колебаний фотона. Хотя мысль об "дрожащем" характере частиц высказывалась.

Проблемным является также понимание переноса энергии и массы светом. Известно, что при распространении волн переносится энергия, тогда как масса не переносится. Но если фотон – частица, которая перемещается в пространстве, то он должен переносить массу.

В связи с двойственностью природы света существует также проблема, на которую в физике не обращается внимание и не существует однозначного ответа – а какая именно скорость света? Если свет – волны, то это фазовая скорость. Для фотона же как частицы скорость характеризует перемещение массы.

Таким образом, при изучении вопроса света в частности или электромагнитных волн вообще существует целый комплекс проблем, которые необходимо объяснить. Это вопрос как научного, так и методического характера.

2.1. Свет как поток колеблющихся частиц

Очевидно, что свет – это особый случай колебаний, когда скорость распространения частиц (фотонов) и фазовая скорость (скорость распространения постоянной фазы) – одинаковые. Традиционно в научной и учебной

литературе такой вид колебаний не рассматривается, несмотря на то, что в природе, даже исходя из общих соображений, должен существовать. И он существует. Это поток не просто частиц, а частиц, которые колеблются. Примером могут быть колебания крыльев стаи птичек, которые летят в одном направлении. Здесь скорость перемещения самой птички (массы) и перемещение фазы колебаний – совпадают. Можно выделить поверхность, на которой находятся птички, машущие крыльями в одной фазе, например, их одновременно поднимают и опускают. Это и будет волновая поверхность в соответствии с принципом Гюйгенса. И таких волновых поверхностей можно выделить много (рис. 2.2).

Свет – это поток
колеблющихся частиц



Рис. 2.2

Таким образом, свет нужно рассматривать как поток частиц, которые называются фотонами. Фотоны – особые частицы, каждая из которых находится в колебательном состоянии.

На рис. 2.3 схематически показан точечный источник света, который излучает фотоны во все стороны. Фотоны колеблются с разными фазами, но среди них можно выбрать такие, которые колеблются в одинаковой фазе.

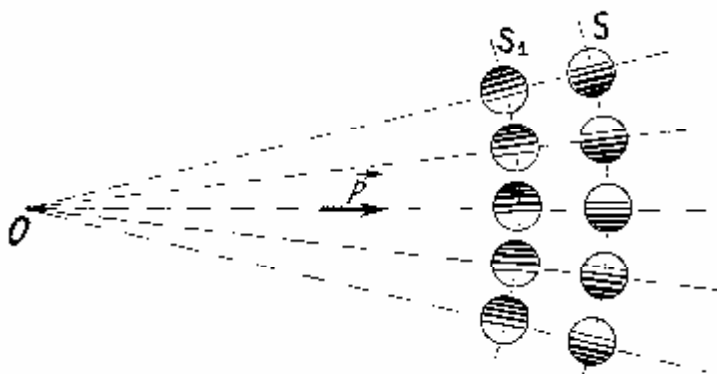


Рис. 2.3

Фотоны, колебания которых происходят в одинаковой фазе, образуют волновую поверхность S , которая отвечает принципу Гюйгенса. В случае точечного источника волновая поверхность сферическая.

Таким образом свет – это поток особых частиц. Однако свет – это еще и электромагнитные волны.

2.2. Свет как электромагнитные волны

Вывод о том, что свет – это электромагнитные волны, сделал Максвелл на основе созданной им теории электромагнитных волн. Поскольку такой вывод имеет чрезвычайно важное значение и касается решаемой нами проблемы, целесообразно рассмотреть элементы теории Максвелла.

Основу системы уравнений Максвелла представляют теорема о циркуляции магнитного поля (закон полного тока) и закон электромагнитной индукции:

$$\oint_1^{\mathbf{r}} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_s \frac{d\mathbf{D}}{dt} d\mathbf{s} + \int_s \mathbf{j} d\mathbf{s}, \quad (17)$$

$$\oint_1^{\mathbf{r}} \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \left(\int_s \mathbf{B} d\mathbf{s} \right),$$

где $\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E}$ – вектор электрического смещения,

а $\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H}$ – вектор магнитной индукции.

Эти уравнения связывают значение напряженности электрического поля \mathbf{E} и напряженности магнитного поля \mathbf{H} вдоль некоторого контура l со значениями $\frac{d\mathbf{B}}{dt}$ и $\frac{d\mathbf{D}}{dt}$ в точках поверхности, охваченной контуром (рис. 2.4). Например, изменение во времени вектора \mathbf{B} , который пронизывает поверхность S , охваченную проводящим контуром, сопровождается появлением электродвижущей силы индукции в этом контуре. И наоборот, изменение во времени электрического поля происходит вместе с появлением магнитного поля.

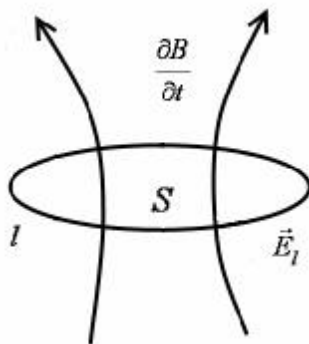


Рис. 2.5

2.3. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме

Уравнения Максвелла (17) записываются через компоненты векторов и в дифференциальной форме они имеют вид [11. – С. 295]:

$\frac{dH_z}{dy} - \frac{dH_y}{dz} = \frac{dD_x}{dt} + j_x,$	$\frac{dE_z}{dy} - \frac{dE_y}{dz} = -\frac{dB_x}{dt},$
$\frac{dH_x}{dz} - \frac{dH_z}{dx} = \frac{dD_y}{dt} + j_y,$	$\frac{dE_x}{dz} - \frac{dE_z}{dx} = -\frac{dB_y}{dt},$
$\frac{dH_y}{dx} - \frac{dH_x}{dy} = \frac{dD_z}{dt} + j_z,$	$\frac{dE_y}{dx} - \frac{dE_x}{dy} = -\frac{dB_z}{dt},$
$\frac{dD_x}{dx} + \frac{dD_y}{dy} + \frac{dD_z}{dz} = \rho,$	$\frac{dB_x}{dx} + \frac{dB_y}{dy} + \frac{dB_z}{dz} = 0.$

Если среда непроводящая ($j_x = j_y = j_z = 0$), плотность заряда $\rho = 0$, и если считать, что $\dot{\vec{E}}$ и $\dot{\vec{H}}$ зависят только от одной координаты x и от времени t , то уравнения Максвелла примут вид:

$$\begin{aligned}
 0 &= \frac{dD_x}{dt}, & 0 &= -\frac{dB_x}{dt}, \\
 -\frac{dH_z}{dx} &= \frac{dD_y}{dt}, & -\frac{dE_z}{dx} &= -\frac{dB_y}{dt}, \\
 \frac{dH_y}{dx} &= \frac{dD_z}{dt}, & \frac{dE_y}{dx} &= -\frac{dB_z}{dt}, \\
 \frac{dD_x}{dx} &= 0, & \frac{dB_x}{dx} &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Выделим в системах (1) уравнения с одинаковой составляющей, например E_y :

$$-\frac{dH_z}{dx} = \frac{dD_y}{dt}, \quad \frac{dE_y}{dx} = -\frac{dB_z}{dt}. \tag{2}$$

Учитывая, что $D_y = \epsilon \epsilon_0 E_y$, а $B_z = \mu \mu_0 H_z$ уравнения (2) запишем:

$$-\frac{dH_z}{dx} = \epsilon \epsilon_0 \frac{dE_y}{dt}, \quad \frac{dE_y}{dx} = -\mu \mu_0 \frac{dH_z}{dt}. \tag{3}$$

Исключим магнитное поле из системы уравнений (3), для чего продифференцируем первое уравнение по t , а второе – по x :

$$\frac{d^2 H_z}{dx dt} = -\epsilon \epsilon_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2}, \quad \frac{d^2 E_y}{dx^2} = -\mu \mu_0 \frac{d^2 H_z}{dx dt}. \quad (4)$$

Перемножив левые и правые стороны (4), получаем:

$$\frac{d^2 E_y}{dx^2} = \epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 \frac{d^2 E_y}{dt^2}. \quad (5)$$

Если подобным образом из (3) исключить E_y , будем иметь:

$$\frac{d^2 H_z}{dx^2} = \epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 \frac{d^2 H_z}{dt^2}. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) – это уравнения волны в дифференциальной форме или так называемые **волновые уравнения**, общий вид которых:

$$\frac{d^2 S}{dx^2} = \frac{1}{u^2} \frac{d^2 S}{dt^2}. \quad (7)$$

Сравнивая (7) с уравнениями (5) и (6), видим, что

$$\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 = \frac{1}{v^2},$$

откуда скорость волны

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}. \quad (8)$$

Для вакуума $v \cong 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = c$.

Решениями волновых уравнений (5) и (6) являются гармонические функции

$$E_y = E_{oy} \cos(\omega t - kx + \psi_1), \quad (9)$$

$$H_z = H_{oz} \cos(\omega t - kx + \psi_2). \quad (10)$$

Эти функции представляют собой плоскую волну, которая распространяется в направлении x .

Таким образом, исходя из уравнений Максвелла, приходим к выводу, что одновременно и взаимно связано должны существовать электрические и магнитные волны – электромагнитные волны.

Определим характер и свойства этих волн.

2.4. Основные свойства электромагнитных волн

Запишем еще раз уравнения Максвелла (3), из которых получены уравнения волн (9) и (10):

$$-\frac{dH_z}{dx} = \epsilon \epsilon_0 \frac{dE_y}{dt},$$

$$\frac{dE_y}{dx} = -\mu \mu_0 \frac{dH_z}{dt}.$$

Как видим, в эту систему уравнений входят компоненты H_z и E_y , т.е. взаимно перпендикулярные составляющие электрического и магнитного полей. Составляющая электрического поля E_y , изменяясь во времени, связана с изменением магнитного поля H_z , а изменяющееся во времени магнитное поле H_z связано с

изменением поля E_y . Аналогично можно показать, что такое же справедливо и для других компонентов (E_x , E_z , H_x , H_y).

Таким образом, мы приходим к важному выводу: **взаимно обусловленные электрическое и магнитное поля, изменяясь во времени, взаимно перпендикулярны:**

$$\dot{\vec{H}} \perp \dot{\vec{E}}. \quad (11)$$

Найдем фазы колебаний E и H .

Для этого выражения для H_z и E_y (см. (9) и (10)) :

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx + \psi_1),$$

$$H_z = H_{0z} \cos(\omega t - kx + \psi_2),$$

подставим в уравнения (3):

$$-\frac{dH_z}{dx} = \epsilon \epsilon_0 \frac{dE_y}{dt},$$

$$\frac{dE_y}{dx} = -\mu \mu_0 \frac{dH_z}{dt}.$$

Соответственно продифференцировав, получим:

$$\begin{aligned} -H_{0z} \cdot k \cdot \sin(\omega t - kx + \psi_2) &= \\ &= -\epsilon \epsilon_0 E_{0y} \omega \sin(\omega t - kx + \psi_1), \\ E_{0y} \cdot k \cdot \sin(\omega t - kx + \psi_1) &= \\ &= \mu \mu_0 H_{0z} \omega \sin(\omega t - kx + \psi_2). \end{aligned} \quad (12)$$

Левые и правые стороны уравнений могут быть равны тогда, когда аргументы в функциях синусов будут

одинаковые, что возможно только при условии равенства фаз:

$$\psi_1 = \psi_2 \quad (13)$$

Таким образом, колебания векторов $\dot{\vec{E}}$ и $\dot{\vec{H}}$ имеют одинаковые фазы.

Электрическое и
магнитное поля
в электромагнитной волне
изменяются
в одинаковой фазе

Коэффициенты левой и правой сторон уравнений (12) также должны быть равны:

$$-H_{0z} \cdot k = -\epsilon \epsilon_0 E_{0y} \omega, \quad (14)$$

$$E_{0y} \cdot k = \mu \mu_0 H_{0z} \omega. \quad (15)$$

Разделим уравнения (14) и (15) одно на другое:

$$\frac{H_{0z}}{E_{0y}} = \frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu_0} \cdot \frac{E_{0y}}{H_{0z}}. \quad (16)$$

Отсюда получаем соотношение для амплитуд E_{0y} и H_{0z} :

$$\mu \mu_0 H_{0z}^2 = \epsilon \epsilon_0 E_{0y}^2,$$

$$\boxed{\sqrt{\mu \mu_0} H_{0z} = \sqrt{\epsilon \epsilon_0} E_{0y}}. \quad (17)$$

Таким образом, в электромагнитной волне векторы \vec{E} и \vec{H} взаимно связаны и представляют собой единую электромагнитную волну. Мы можем сконструировать изображение этой волны для определенного момента времени (рис. 2.5).

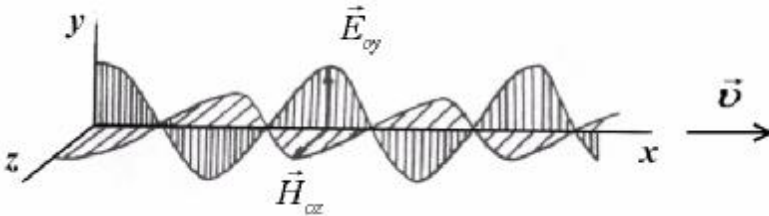


Рис. 2.5

Для дальнейшего важно обратить внимание на то, что колебания векторов \vec{E} и \vec{H} происходят с одинаковой фазой.

Электрическое и магнитное поля имеют энергию. Так как в электромагнитной волне \vec{E} и \vec{H} изменяются и в пространстве и во времени, то очевидно, что изменяется и энергия волны. Однако, если изменяется энергия, то она должна во что-то превращаться. Во что же ?

Колебание напряженностей
электрического и магнитного
полей означает
колебание энергии
электромагнитной волны

Если изменяется энергия
электромагнитной волны,
то в что она превращается ?

2.5. Какие колебания происходят с фотоном ?

С точки зрения корпускулярного подхода, как показано в (2.1), электромагнитная волна – это поток фотонов – частиц, которые колеблются, а из решения уравнений Максвелла вытекает, что происходят колебания электрического (\vec{E}) и магнитного (\vec{B}) полей. Но наличие таких колебаний не имеет физического обоснования, так как электрическое и магнитное поля имеют энергию, которая тоже колеблется. Проблема в том, что, как уже отмечалось, **колебание векторов \vec{E} и \vec{B} происходит в одинаковой фазе**, поэтому энергия электрического поля не может переходить в энергию магнитного поля или наоборот, как это имеет место в колебательном контуре. В колебательном контуре это возможно, потому что разность фаз между \vec{E} и \vec{B} равна $\pi/2$. В связи с этим возникает вопрос – во что превращаются энергии электрического и магнитного полей электромагнитной волны при изменении \vec{E} и \vec{B} ? Объяснение может быть одно: в электромагнитной волне происходит колебание энергии в соответствии с уравнением (2):

$$W = c^2 \cdot m.$$

Это значит, что изменение энергии в электромагнитной волне сопровождается изменением массы фотона:

$$\Delta W = c^2 \cdot \Delta m.$$

Заметим, что масса фотона m здесь только динамическая, поскольку масса покоя фотона равна нулю.

Изменение энергии
в электромагнитной волне
сопровождается
изменением массы
фотона:

$$\Delta W = c^2 \cdot \Delta m$$

Таким образом, электромагнитная волна, в частности и свет, представляет собой поток частиц – фотонов, в которых происходят колебание типа:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots \quad (17)$$

При таком рассмотрении становится понятным, что при распространении света фотоны как частицы переносят массу и потому скорость света является скоростью перемещения массы. С другой точки зрения масса, которая переносится, находится в колебательном состоянии. Это значит, что скорость перемещения постоянной фазы является также скоростью распространения фотонов.

Таким образом, **скорость света одновременно является скоростью перемещения фотонов как частиц, так и скоростью распространения постоянной фазы в колебательном процессе.**

По физическому смыслу эти скорости разные, но по величине – одинаковые.

При рассмотрении света (а также других электромагнитных волн) как потока частиц (фотонов), которые находятся в колебательном состоянии типа

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots,$$

возникает необходимость рассмотрения с такой же точки зрения все известные явления и эффекты – опыты Физо и Майкельсона по выявлению эфира как среды для распространения света, эффект Доплера, явления интерференции и дифракции, а также объяснить, в каком смысле скорость света является постоянной величиной и не зависит от движения системы координат, в которой она определяется.

Свет представляет собой
поток частиц – фотонов,
в которых происходят
колебание типа

$$\Delta W \rightarrow \Delta \boldsymbol{m} \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta \boldsymbol{m} \rightarrow \dots$$

Скорость света
одновременно является
скоростью перемещения
фотонов как частиц,
так и скоростью
распространения
постоянной фазы

3. ЧТО ТАКОЕ ФОТОН КАК ЧАСТИЦА ?

В главе 1 мы рассмотрели движение "обычного" тела, "обычной" частицы, которые движутся в пространстве. На тело можно подействовать силой и изменить его скорость. При действии силы тело ускоряется и при этом возрастает его масса от массы покоя m_0 к релятивистской массе m :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\Delta v^2}{c^2}}} . \quad (1)$$

Здесь релятивистская масса – это суммарная масса тела – масса покоя m_0 и динамическая масса Δm , приобретенная в процессе ускорения:

$$m = m_0 + \Delta m .$$

Вполне логично предположить, что тела могут иметь разную массу покоя и в предельном случае равную по величине нулю: $m_0 = 0$. Для таких тел масса может быть только динамической, т.е. изменяющейся:

$$m = m_0 + \Delta m = 0 + \Delta m = \Delta m .$$

Именно такой частицей, которая имеет только динамическую массу, является фотон. Для фотона формула (1) означает, что он движется со скоростью $v = \Delta v = c$. Но тогда выражение знаменателя в (1) стремится к нулю и масса m должна бы стать бесконечно большой, что означает потерю физического смысла. Однако формула не теряет смысла, если масса покоя фотона $m_0 = 0$, поскольку при таких условиях появляется неопределенность, при которой масса фотона имеет определенное значение:

$$m = \Delta m = \frac{0}{0}.$$

Так как для фотона $m_0 = 0$, он имеет только изменяющуюся динамическую массу Δm , благодаря чему имеет место колеблющийся процесс типа :

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$$

Таким образом фотон – это особая частица, которая находится в колебательном состоянии и движется с большой скоростью, которая является постоянной величиной.

Но возникает вопрос: почему скорость фотона постоянна ?

**Фотон –
это особая частица,
которая находится
в колебательном состоянии
и движется
с постоянной скоростью**

3.1. Почему скорость света является постоянной величиной ?

Фотон появляется при изменении энергии, в частности при переходе электрона в атоме из высшего энергетического уровня на низший: $\Delta W = h\nu$.

Повлиять на движение фотона, ускорить его – невозможно, поскольку инертная масса фотона – масса покоя – равна нулю. Фотон движется с большой скоростью c , которая является постоянной величиной. Постоянство скорости имеет принципиальное значение, поскольку это является характеристикой особенности фотона. Для того, чтобы изменить скорость фотона как частицы, необходимо подействовать на него силой. Так, например, ускоряются электроны в электронно-лучевой трубке или в циклотроне. Однако для электрона такое возможно, так как он имеет заряд и поэтому его можно ускорять в электрическом поле. Фотон же – частица электронейтральная и нет способа подействовать на него силой, чтобы ускорить. Поэтому определение скорости фотона в любой подвижной системе дает одинаковый результат – скорость фотона является величиной постоянной.

Имея динамическую массу Δm и двигаясь со скоростью \dot{c} , фотон имеет определенное количество движения, которое традиционно называют импульсом \dot{p} . Поскольку масса фотона изменяющаяся величина, то и количество движения \dot{p} (импульс) также является изменяющейся величиной: $\Delta \dot{p} = \Delta m \cdot \dot{c}$.

3.2. Сохранение импульса (количества движения) при распространении электромагнитных волн

Свет имеет двойственную природу – волновую и квантовую [12]. С точки зрения квантовой теории свет представляет собой поток частиц – фотонов, которые имеют массу и движутся со скоростью $c @ 300000 \text{ км/с}$ и, значит, имеют импульс (количество движения) $\vec{p} = m \vec{c}$. Благодаря наличию импульса фотонов, свет совершает давление на вещество, на которое он падает, что является одним из подтверждений корпускулярных свойств света.

Однако свет имеет также волновые свойства, является электромагнитной волной и представляет собой колебания векторов напряженностей электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей, которые происходят с одинаковой фазой и распространяются со скоростью света \vec{c} :

$$E = E_m \cos (wt - kx + y),$$

$$H = H_m \cos (wt - kx + y).$$

В фотоне, который представляет собой особую частицу, в соответствии с формулой $\Delta W = \Delta m c^2$ происходят колебания с превращением массы в энергию поля и наоборот:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$$

Имея динамическую массу Δm и двигаясь со скоростью \vec{c} , фотон имеет определенное количество движения, которое традиционно называют импульсом \vec{p} . Поскольку масса фотона является изменяющейся величиной, то и импульс (количество движения) является изменяющейся величиной: $\Delta p = \Delta m \cdot \vec{c}$. Поэтому необходимо говорить о сохранении количества движения – импульса. Очевидно, выполнение закона сохранения

импульса при таких условиях обеспечивается благодаря тому, что механический импульс фотона $m\dot{c}$ при изменении массы превращается в электромагнитный импульс (и наоборот).

О том, что кроме механического импульса (количества движения), существует электромагнитный импульс, известно еще из исследований Томсона, который наделял импульсом само электромагнитное поле. Он считал, что электромагнитный импульс настолько же реальный, как и механический импульс, который обусловлен наличием массы: *“Важно помнить, что это количество движения ни в каком отношении не отличается от обычного механического количества движения и может быть добавлено или отнято от количества движения тел, которые движутся”* (Дж. Томсон. Электричество и материя. – М.: ГИЗ, 1928. – С. 21).

Электромагнитный импульс проявляется при взаимодействии света с веществом, что также является причиной возникновения давления света. Под действием вектора напряженности электрической составляющей \vec{E} волны (фотона) электроны вещества смещаются в направлении, перпендикулярном к лучу. Это обуславливает появление скорости электрона, направленной перпендикулярной к магнитной составляющей \vec{H} волны (фотона), и возникновение силы Лоренца, которая действует в направлении луча и создает давление света.

Поэтому вполне логично считать, что при распространении электромагнитной волны происходят взаимные преобразования количества движения (импульса), связанного с массой, и электромагнитного импульса, что и обуславливает сохранение общего импульса.

Говоря о распространении света в пространстве, важно определить механизм этого распространения.

4. ПРОБЛЕМА СРЕДЫ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

В наше время о свете говорят как о распространении электромагнитных волн. Проблема выяснения механизма распространения света возникла более чем сто лет назад и в то время важным было экспериментальное подтверждение (или опровержение) существования эфира как среды для распространения световых волн. Считалось, что если свет распространяется в пределах Земли, то вокруг нее как среда для распространения волн должен быть эфир. Такое возможно в двух случаях: или Земля движется сквозь неподвижный эфир, либо эфир захватывается Землей и движется вместе с ней. Поэтому были поставлены опыты по выявлению "эфирного ветра", в частности опыты Физо и Майкельсона. Из опыта Физо вытекало частичное увлечение эфира Землей, тогда как из опыта Майкельсона сделан вывод об отсутствии эфирного ветра. С учетом других экспериментальных данных, в частности абберрации света, был сделан вывод об отсутствии эфира. Эти исследования стали экспериментальным основанием для создания А. Ейнштейном специальной теории относительности, основной вывод которой в том, что пространство и время взаимно связаны и образуют единую форму существования материи. Традиционно опыты Физо и Майкельсона рассматриваются в литературе по теории относительности, в частности практически во всех пособиях для высшей школы. Поскольку механизм распространения электромагнитных волн в рамках традиционных представлений неизвестен, представляет интерес рассмотрение опытов Физо и Майкельсона с точки зрения представлений о свете как особых частицах, для которых свойственны собственные внутренние колебания (см. 2.1. – С. 26).

4.1. Проблемность традиционной интерпретации опыта Физо относительно увлечения эфира движущимся телом

В 1851 г. Физо поставил опыт, в основу которого была положена идея, что эфир, в котором распространяется свет, захватывается движущимися телами [16. – С. 395-399].

В опыте Физо параллельный пучок света от источника S разделялся полупрозрачным зеркалом P на два пучка 1 и 2 (рис. 4.1). С помощью зеркал M_1 , M_2 , M_3 достигалось то, что пучки проходили одинаковые пути, попадали в зрительную трубу T и интерферировали. На пути распространения лучей 1 и 2 была размещена система из двух труб, которыми циркулировала вода со скоростью u . Луч 1 распространялся по течению, а луч 2 – против течения.

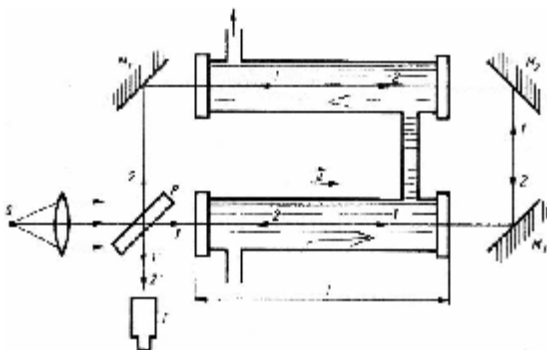


Рис. 4.1

Опыт показал, что движение воды в системе приводит к смещению интерференционных полос в зрительной трубе T , т.е. было выявлено влияние движения среды на скорость распространения света в ней. Это как бы **значило**, что опыт Физо подтверждает наличие среды (эфира), в которой распространяются световые волны.

4.2. Опыт Майкельсона относительно увлечение эфира подвижным телом

Идея эксперимента, который давал бы принципиальную возможность непосредственного выявления движения Земли относительно эфира, была высказана еще Максвеллом в 1878 г. В 1881 г. Майкельсоном был поставлен эксперимент [13], точность проведения которого обеспечивалась чувствительным интерферометром (рис. 4.2).

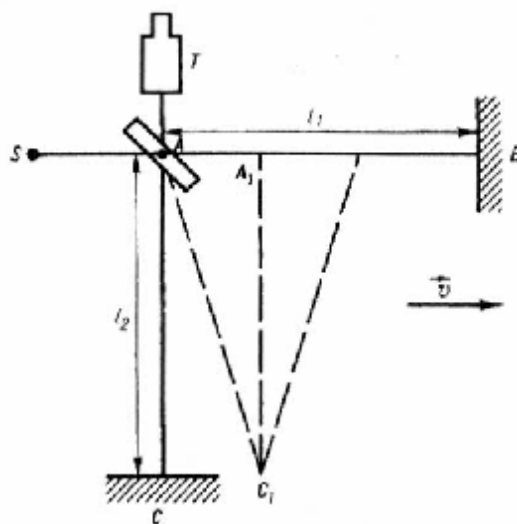


Рис. 4.2

Луч света от источника S полупрозрачным зеркалом A делится на два луча. Один из них распространяется в направлении AB , отражается от зеркала B и попадает в зрительную трубу T . Поскольку оба луча когерентные, то в трубе T наблюдается интерференционная картина. Если бы Земля относительно эфира не двигалась, а плечи были

равными, то в центре интерференционной картины должен быть максимум.

Интерферометр ориентирован так, что одно из плеч, например AB , ориентировано в направлении движения Земли по орбите, а второе (AC) – перпендикулярно к нему. Тогда промежутки времени t_1 и t_2 , которые затрачивает свет для прохождения туда и назад одинаковых расстояний AB и AC , выходят разными. Действительно, если считать, что эфир неподвижный и интерферометр движется вместе с Землей сквозь эфир, то **свет вдоль плеча AB распространяется дольше**, поскольку точка B_o все время отдаляется. Это значит, что время прохождения расстояния l будет больше: $\tau_1 = \frac{l}{c-v}$. И наоборот, при обратном

распространении света от точки B к точке A , которая движется навстречу свету, **время прохождения расстояния $BA = l$ меньше**: $\tau_2 = \frac{l}{c+v}$. Общее время

прохождения расстояния от A до B и от B до A

$$t_1 = \tau_1 + \tau_2 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2l}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

При таких условиях лучи в перпендикулярных плечах интерферометра при его повороте на 90° должны дать разность хода и смещение интерференционной картины. Однако **смещение интерференционной картины не происходило**, хотя чувствительность прибора гарантировала возможность его выявления. Это значило, что скорость света не зависит от системы координат, которая движется и в которой измеряется скорость света.

Отсутствие изменения интерференционной картины могло быть объяснено полным увлечением эфира. В таком случае распространение света в эфире не зависело от

движения Земли. Подобное могло бы наблюдаться, если бы, например, рассматривали распространение звука в воздухе в закрытом вагоне, который движется, когда в направлении движения и в перпендикулярном направлении скорость звука одинакова. Однако с идеей полного увлечения эфира можно было бы согласиться, если бы это не противоречило другим опытам, в частности явлению абберации света, заключающемся в том, что для наблюдения луча от звезды зрительную трубу нужно несколько наклонить в направлении движения Земли. Это значит, что свет распространяется в эфире, который не движется вместе с ней и не захватывается Землей. Таким образом, один опыт подтверждал полное увлечение эфира Землей, другой – отсутствие любого увлечения. Согласование между этими экспериментами могло быть лишь при условии отсутствия самого эфира. Т.е., если эфира нет, то одинаково можно считать, что он полностью увлекается и в то же время совсем не захватывается. Правда, в эту схему не улаживался опыт Физо, который подтверждал **частичное** увлечение эфира. Выходило, что эфира нет, но он **частично** захватывается ! Бессмыслица ! Все это требовало объяснения.

Такую задачу выполнила теория относительности Ейнштейна, согласно которой в системе координат, которая движется, происходит сокращение размеров тел. Соответственно в опыте Майкельсона длина плеча интерферометра в направлении движения становится короче, чем и объясняется отсутствие смещения интерференционной картины при поворотах интерферометра.

Правда, **теория относительности не раскрывала механизма распространения световых волн без какой-либо среды.** Это и не входило в ее функции. Она также не объясняла опыта Физо о частичном увлечении эфира водой, которая движется.

Физические явления происходят независимо от того, как мы их описываем. Могут быть разные способы описания, но их выводы не должны противоречить друг другу.

Например, мы слушаем по радио спектакль в театре. Другие смотрят ее по телевизору, у которого отсутствует звук. Представление о том, что на самом деле происходит в театре у слушателей и у зрителей не должны быть в противоречии.

Для объяснения опыта Майкельсона, а также других опытов, пришлось отказаться от эфира как среды для распространения электромагнитных волн. Х. Лоренц и Дж. Фицджеральд выдвинули гипотезу о том, что движущиеся тела (в данном случае приборы) относительно неподвижного эфира испытывают в направлении движения сокращения линейных размеров. Эта идея легла в основу специальной теории относительности, развитой Ейнштейном. Уравнения для изменения длины и времени такие, что компенсирует разность хода, которая должна бы образовываться в опыте Майкельсона. Таким образом, опыт Майкельсона "запрещал" увлечение эфира, что с учетом других экспериментов дало возможность сделать вывод о его отсутствии. Поскольку согласно рассмотренной нами квантово-колебательной теории свет представляет собой поток частиц-фотонов (см. 2.1, с....), то для их распространения не нужна определенная среда, но независимое движение фотонов отвечает модели неподвижного эфира относительно опыта Майкельсона. Тем более, предложенная нами квантово-колебательная теория света полностью согласовывается с выводами опыта Майкельсона об отсутствии эфира как среды для распространения световых волн, а сам опыт объясняется выводами теории относительности.

Однако опыт Майкельсона находился в противоречии с опытом Физо [16], которым установлено частичное увлечение эфира средой, которая движется. Поэтому важно найти объяснение такого расхождения.

4.3. Расхождение между результатами опытов Физо и Майкельсона

Расхождение между результатами опытов Физо и Майкельсона объясняется с помощью квантово-колебательной теории света (2. – С. 24), согласно которой свет представляет собой не колебание среды (эфира, вакуума), а поток фотонов – особых частиц, для которых свойственны собственные (внутренние) колебания. Т.е., фотоны – это частицы, которые, с одной стороны, имеют массу, импульс, а с другой – частицы, для которых характерна фаза, которая определяет их колебательное состояние. Причем, с фотоном происходят внутренние колебания со взаимным превращением энергии в массу и массы в энергию в соответствии с законом $\Delta W = \Delta m c^2$.

Такое представление света как частиц, которые колеблются, относительно опыта Майкельсона не дает расхождения в объяснении отсутствия изменения разности фаз по сравнению со случаем распространения волн в среде, которая движется. Действительно, внутренние колебания фотона при его движении со скоростью \hat{c} полностью аналогичны колебаниям при распространении световой волны в гипотетическом эфире, захваченном Землей. Однако в опыте Майкельсона ожидаемое смещение интерференционной картины вследствие возникновения разности фаз лучей не состоялось, что свидетельствовало о независимости скорости света от движения Земли. Как уже упоминалось, объясняется такой факт

сокращением расстояний в подвижной системе координат, которая вытекает из теории относительности.

В тот же время в опыте Физо при прохождении лучей во встречных потоках воды оказалась разность фаз, несмотря на то, что скорость перемещения воды была намного меньшей, чем скорость движения Земли.

Расхождение опыта Майкельсона с опытом Физо, из которого вытекает частичное увлечение эфира подвижной средой, в рамках теории массо-колебательного характера света объясняется таким образом.

Свет в вакууме распространяется как частицы со скоростью c . В среде, как известно, скорость распространения меньше, чем в вакууме. Для объяснения этого необходимо рассмотреть механизм распространения света в веществе. Очевидно, что он несколько отличный от свободного распространения фотонов в вакууме, поскольку связан со взаимодействием фотонов с веществом, поглощением фотонов атомом и последующим излучением. Поэтому скорость света в среде можно рассматривать как процесс эстафетного переизлучения фотонов веществом, когда атом поглощает квант энергии, перемещается на определенное расстояние и спустя некоторое время переизлучает. Это излучение поглощает другой атом и снова переизлучает. Такой эстафетный процесс и определяет распространение волны в среде. Таким образом, задержка излучения вследствие эстафетного распространения света в среде является причиной того, что скорость света в среде меньшая, чем в вакууме.

Эстафетный характер процесса излучения по разному проявляется при распространении волны по движению и против движения воды в опыте Физо. За время от поглощения до переизлучения в одном случае атом перемещается на некоторое расстояние в направлении распространения света, тогда как в другом

случае он движется против распространения света. Это отличие в распространении света и служит причиной разности фаз в опыте Физо, что трактовалось как эффект частичного увлечения эфира водой, которая движется.

Таким образом, пояснение опыта Физо нужно связывать не с эфиром как некоторой идеальной средой, благодаря колебаниям которой распространяется свет, а с особенностью природы света и характера его распространения в веществе. Эстафетный характер поглощения и переизлучения приводит к появлению разности фаз между лучами, которые распространяются по движению и против движения воды, что и приводит к смещению интерференционной картины по сравнению со случаем, когда вода неподвижная. Поэтому вряд ли есть необходимость относить результаты опыта Физо к аргументам, на основе которых была построена теория относительности.

**Пояснение опыта Физо
нужно связывать
с особенностью природы света
и характером его
распространения в веществе**

5. НЕЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ СВЕТА ОТ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, В КОТОРОЙ ОН РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ

Постоянство скорости света в вакууме подтверждено многими опытами с большой точностью. Она является одним из постулатов теории относительности: в любой системе координат, которые равномерно движутся одна относительно другой, скорость света является постоянной величиной и не зависит от скорости движения системы. Это значит, что в различных инерциальных системах координат движение фотонов, как частиц, принципиально отличается от движения классических тел, для которых кроме “динамической” массы m присуща масса покоя m_0 . Именно отсутствие массы покоя не позволяет ускорять фотон и изменять его скорость. Поэтому нет такой системы координат, в которой бы измеренная скорость света была равняла нулю. Покажем это на примерах определения скорости движения классического тела и скорости распространения света (фотона).

Известно, что скорость тела является относительной величиной и она зависит от движения системы координат в которой тело находится. Поэтому то обстоятельство, что скорость света (фотона) является константой, дает основания утверждать, что существует принципиальное отличие между скоростью перемещения тела и скоростью распространения света (фотона) в инерциальных системах координат. Для выявления такого отличия рассмотрим опыты по определению скорости **тела** и скорости **света** в системах координат, которые равномерно движутся одна относительно другой. Такими системами могут быть, например, Земля и Солнце.

5.1. Отличие между скоростью движения тела и скоростью распространения света

Определим скорость **тела** в двух случаях – в направлении движения Земли вокруг Солнца, а также в перпендикулярном направлении.

Пусть это будет пуля, которая вылетает из ружья. Измерение будем проводить, например, с помощью прибора Π_1 из двух дисков, которые вращаются на одной оси с постоянной угловой скоростью (рис. 5.1). Очевидно, что скорость пули будет пропорциональна углу φ между отверстиями, пробитыми пулей в дисках.

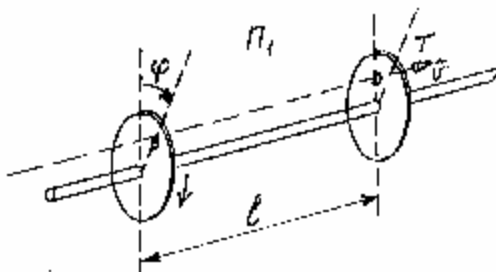


Рис. 5.1

Если прибор Π_1 для измерения скорости пули находится в системе координат, связанной с Землей, то он является неподвижным относительно нее. В таком случае до выстрела скорость пули относительно Земли равна нулю, а измеренная прибором Π_1 после выстрела, независимо от направления – \vec{u}_T .

Когда же прибор Π_1 для измерения скорости находится в системе координат, связанной с Солнцем (С), то уже до выстрела измеренная скорость пули будет равна скорости движения Земли относительно Солнца \vec{u}_0 , а

после выстрела она будет $\vec{u}_1 = \vec{u}_T + \vec{u}_0$ (рис. 5.2). В перпендикулярном направлении к движению Земли скорость пули после выстрела будет равна геометрической сумме скорости \vec{u}_T относительно ружья и скорости Земли \vec{u}_0 по орбите: $\vec{u}_1 = \vec{u}_T + \vec{u}_0$.

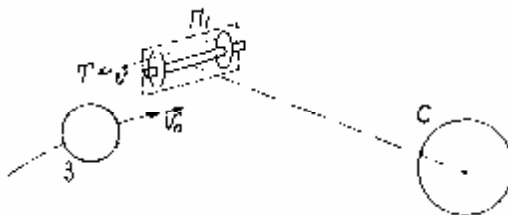


Рис. 5.2.

Таким образом, скорость тела зависит от того, в какой системе координат рассматривается это движение и определяется как результат геометрического сложения скоростей. Очевидно, что в данном случае мы имеем дело с инертной массой тела, т.е. массой, которая изменяет свою скорость при действии внешней силы (или другого тела).

Теперь проведем измерение скорости **света**, например, методом Майкельсона, с помощью прибора с зеркальной призмой (рис. 5.3).

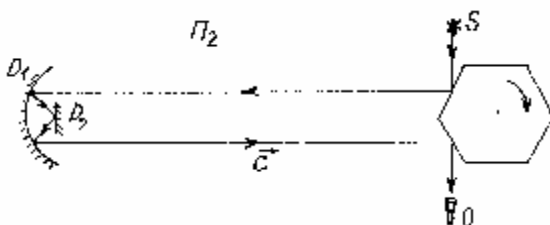


Рис. 5.3

Луч от источника S отражается от призмы, проходит расстояние к зеркалу D_1 , отражается и снова попадает на призму. При определенном положении призмы можно наблюдать отраженный луч с помощью зрительной трубы O . При вращении призмы луч исчезает, но при определенной частоте, когда за время его прохождения призма повернется так, что луч отразится, его снова можно увидеть. Зная угловую скорость вращения призмы, можно определить скорость света. Результат мы знаем: скорость света одинаковая, независимо от того, как будет ориентирован прибор относительно Земли — параллельно или перпендикулярно к ее движению по орбите. А также независимо от того, в какой системе координат будет находиться прибор для измерения скорости света. Например, несмотря на то, что Земля движется со скоростью \vec{u}_0 относительно прибора Π_2 , который связан с Солнцем, измеренное значение скорости света будет постоянным (рис. 5.4).



Рис. 5.4

Таким образом, результаты измерения скорости света (электромагнитное поле) принципиально отличны от случая с пулей (тело, вещество), что необходимо объяснить. Заметим, что ни классическая волновая, ни

квантовая теория однозначно не раскрывают **механизма** распространения света как электромагнитных волн. Сначала считалось, что свет распространяется как колебание эфира (светоносной среды). Однако опыт Майкельсона по выявлению “эфирного ветра” показал независимость скорости света от направления его распространения при движении Земли по орбите. Для объяснения результатов этого опыта Ейнштейном была создана теория относительности, которая отрицает существование эфира.

Мы будем придерживаться этого вывода и будем рассматривать свет с точки зрения корпускулярного подхода, т.е. как поток фотонов (частиц света). Причем, согласно модельным представлениям квантово-колебательной теории, фотоны будем рассматривать как частицы специфические, такие, для которых присущ внутренний колебательный процесс (2.1. – С. 26).

Итак, в соответствии с теорией относительности излученный фотон движется с постоянной скоростью независимо от того, в какой системе координат это движение рассматривается. И если определим скорость фотона, то она окажется (в отличие от опыта с пулей) **одинаковой для любой системы координат**, которые движутся с разными скоростями одна относительно другой – то ли относительно Земли или относительно Солнца. Особенность такого поведения фотона определяется его природой.

Если пуля является той формой материи, которую мы называем веществом, то фотон – объект другого вида материи, который называем полем. Принципиальное отличие между пулей и фотоном в том, что пуля в системе координат, связанной с Землей, имеет **массу покоя**. Эта масса покоя является выражением инерционных свойств тела. А поскольку в системе координат, связанной с Солнцем, даже до выстрела пуля имеет скорость,

обусловленную движением вместе с Землей относительно Солнца, то она имеет кинетическую энергию. Для фотона же все иначе. Скорость движения фотона в пределах Земли не зависит от ее движения. **Земля не передает фотону какой-либо энергии, связанной с ее движением**, поскольку масса покоя фотона равна нулю и с самого начала это сделать невозможно, так как нет способа подействовать на фотон. Фотон имеет массу, но это так называемая релятивистская, точнее “динамическая” масса (З. – С. 42). Движение Земли может передаться телу, которое имеет инертную массу, которую можно отождествить с массой покоя. Инертную массу можно ускорять или замедлять. Ускорить же или замедлить динамическую массу нет возможности. Эта масса находится в колебательном состоянии в соответствии с соотношением $DW = c^2 \Delta m$. Можно сделать вывод, что эта формула отображает связь между двумя состояниями материи – веществом и полем – и соответствующими для них разными формами движения.

Нужно отметить еще одну особенность сравнения прямолинейных движений вещественных частиц и фотонов как частиц поля. При наблюдении за движением частицы-вещества мы имеем дело с массой и определяем скорость ее перемещения в пространстве. При распространении же волн вообще и световых волн в частности речь идет не о перемещении массы (массы покоя) в направлении распространения волны (при распространении волн масса не переносится), а о перемещении определенной фазы колебательного процесса. Поэтому формальные прямые сравнения, формальная аналогия, здесь не могут считаться обоснованными.

5.2. Эффект Допплера с точки зрения квантово-колебательной теории света

Отсутствие среды для распространения электромагнитных волн и своеобразный механизм их распространения как поток частиц, которые находятся в колебательном состоянии, нуждается в объяснении с этой точки зрения традиционно известных понятий, эффектов и явлений, в частности таких как эффект Допплера, явление дифракции, волны де Бройля, идеи квантовой механики.

Известно, что при распространении волн в среде существует эффект Допплера, который состоит в изменении частоты колебаний при движении источника или приемника колебаний относительно среды. Эффект Допплера наблюдается также при распространении электромагнитных волн, в частности света, частота колебаний которого зависит от относительной скорости источника и приемника световых колебаний [11. – С. 468]. Поскольку свет имеет двойственную природу – волновую и корпускулярную, а механизм распространения электромагнитных колебаний неизвестен, существует специфика объяснения в этом случае природы эффекта Допплера.

В классическом случае распространения волн (например, акустических) происходит в среде, поэтому изменение частоты колебаний зависит от движения источника или приемника относительно среды. Действительно, представим, что два неподвижных источника D_1 и D_2 одновременно излучают сигналы с одинаковой частотой, которые распространяются в среде в направлении неподвижных приемников P_1 и P_2 . Пусть на время излучения второго сигнала первые сигналы от обоих источников дошли к положению I (рис. 5.5). Второй сигнал излучается тоже одновременно двумя источниками, однако источник D_2 движется со скоростью u , поэтому его

сигнал будет излучен из положения $2'$, которое ближе к первому сигналу, чем для источника D_1 , который не движется. Соответственно расстояние l_1 между двумя соседними сигналами от источника D_1 будет больше от расстояния l_2 , когда источник движется. Значит, сигналы от источника D_2 будут восприниматься приемником с большей частотой, чем сигналы от источника D_1 , хотя излучаются они через одинаковое время.

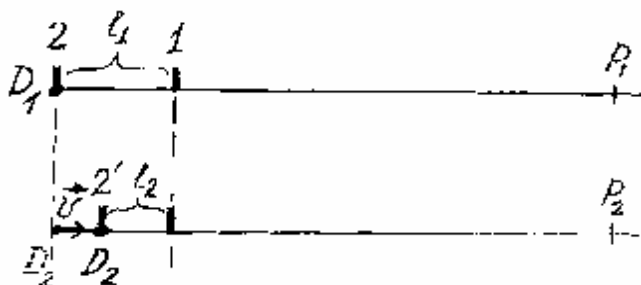


Рис. 5.5

При отдалении источника наоборот, – по сравнению с неподвижным состоянием сигнал будет посылаться источником все время из большего расстояния и будет доходить к приемнику позднее, что будет восприниматься как уменьшение частоты.

Подобная ситуация возникает при движении приемника относительно среды. В этом случае сигнал доходит к приемнику быстрее, если приемник движется навстречу источнику (что воспринимается как увеличение частоты), и с задержкой – когда приемник отдаляется (уменьшение частоты).

Согласно современным представлениям свет не рассматривается как колебание какой-то среды (эфира, ваку-

ума). Отсутствие эфира доказано опытами Майкельсона. Поэтому для света нужно дать другое толкование эффекта Допплера, которое определяется только относительным движением источника и приемника без участия среды в перенесении волн (здесь мы не рассматриваем прохождение света в веществе – воде, стекле и т.п., поскольку там механизм распространения несколько другой).

Объяснение эффекта Допплера для света будем давать на основе квантово-колебательной теории света (2. – С. 23). Согласно этой теории свет рассматривается как поток фотонов – специфических частиц, которые находятся в колебательном состоянии. С фотоном происходят внутренние колебания, обусловленные эквивалентными преобразованиями типа энергия→масса→энергия→масса... Таким образом, фотоны распространяются в пространстве со скоростью света, колеблясь. Т.е., для них присуща фаза, которая характеризует колебательный процесс. Поэтому световую волну нужно рассматривать как поток фотонов и можно охарактеризовать по движению одной частицы, т.е. отдельного фотона.

Рассмотрим два одинаковых источника D_1 и D_2 , которые одновременно излучают фотоны. Источник D_1 и приемник P один относительно другого не движутся, тогда как источник D_2 относительно приемника движется со скоростью u . Источник (атом) излучает фотон как частицу, которая колеблется. Процесс излучения фотона длится [хоть и короткое, но определенное время. Двигаясь в пространстве, фотон колеблется. Процесс поглощения фотона приемником (атомом) тоже длится определенное время и приемник воспринимает изменения состояния фотона с определенной частотой.

На рис. 5.6 схематично показано формирование двух фотонов при одновременном их излучении непод-

вижным источником D_1 (рис. 5,6 а) и источником D_2 (рис. 5.6 б), движущемся в направлении приемника. Пусть в некоторый момент в излученном источником D_1 фотоне максимум E произойдет в положении 1. Поскольку источник D_2 движется со скоростью u , то окончание излучения фотона 2 будет отвечать положению атома 2. Т.е. начало и конец пути, на котором происходит одно колебание (“длина волны”), здесь будет меньшим, чем в случае, когда источник не движется. Приемником это будет воспринято как увеличение частоты.

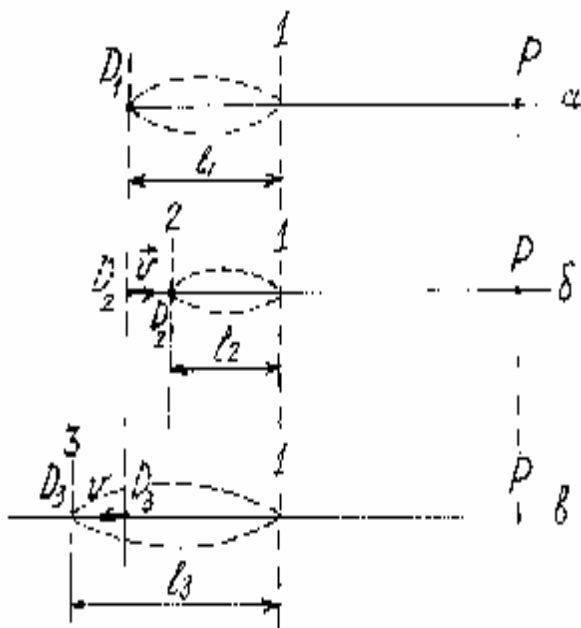


Рис.5.6

Если же источник D отдаляется от приемника, то окончание формирования фотона отвечает положению 3, т.е., будет происходить на большем промежутке пути.

Приемник это воспримет как меньшую частоту колебаний (рис. 5,6 в).

Подобно происходит процесс изменения частоты в случае, когда приемник движется относительно источника. Если приемник движется навстречу фотону, то расстояние, которое он проходит в процессе поглощения фотона, будет меньше, что воспринимается как увеличение частоты. И наоборот, при отдалении приемника этот процесс удлинится, что эквивалентно уменьшению частоты.

Таким образом, эффект Допплера для света имеет специфическое объяснение по сравнению с распространением волн в среде. Он является проявлением взаимодействия приемника или источника света, которые движутся один относительно другого, с носителем света фотоном как частицей, которая представляет собой колебательную систему.

"До настоящего времени никому не удалось
удовлетворительно определить разницу
между дифракцией и интерференцией.
Дело лишь в привычке, а существенного
физического отличия между этими
явлениями нет"

Р. Фейнман

Дифракция – это такая
разновидность
интерференции,
когда когерентными
источниками являются
резкие края преграды

6. ЯВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ФОТОНОВ

При изучении явления дифракции электромагнитных волн в общеобразовательной, а также в высшей школе возникает неопределенность в понимании физической сути этого явления. Так, опыт показывает, что студенты, исходя из школьных представлений, преимущественно формулируют явление дифракции как *"захождение лучей в область геометрической тени вследствие огибания острых неоднородностей"*. Такое определение лишь частично и поверхностно отображает физическую сущность явления дифракции. Поскольку дифракционная картина как результат дифракции возникает не только в области тени (точка P_1 на рис. 6.1), но также в освещенной прямыми лучами области (точка K) и даже в обратном направлении относительно распространения лучей (точка P_2). В этом легко убедиться, если направить свет на щель и наблюдать картину из дифракционных максимумов на экранах E_1 и E_2 в точках P_1 и P_2 (рис. 6.1).

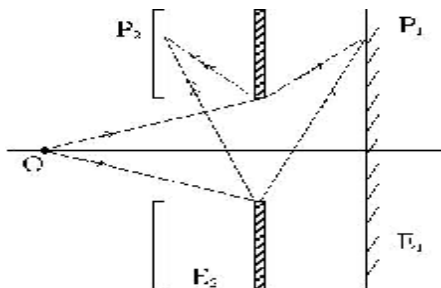


Рис. 6.1

Если наблюдение на экране E_1 определенной мерой отвечает приведенному определению дифракции, то возникновение дифракционной картины на экране E_2

нуждается в дополнительных разъяснениях. Значит, объяснение дифракции требует выяснения физической сути этого явления и использование соответствующей терминологии.

На острых краях преграды
происходит переизлучение
света, точнее –
переизлучение фотонов

При дифракции
когерентными источниками
становятся резкие края
преграды

6.1. Дифракция как один из видов интерференции

Явление интерференции состоит в возникновении интерференционной картины – системы максимумов и минимумов – в результате наложения когерентных лучей. Дифракция – это тоже интерференция. В частности, такая мысль высказана в [24. – С. 61], однако описание явления абстрактное и сущности дифракции не раскрывает. Особенность же дифракции как интерференции состоит лишь в способе получения когерентных источников света.

При дифракции когерентными источниками становятся резкие края преграды, на которых происходит переизлучение световых волн, точнее – переизлучение фотонов (рис. 6.1). При попадании света на преграду, электроны приходят в колебательное движение и переизлучают свет, который от острых частей преграды может попадать в область тени, создавая интерференционную картину.

На рис. 6.2 показана дифракция на диске.

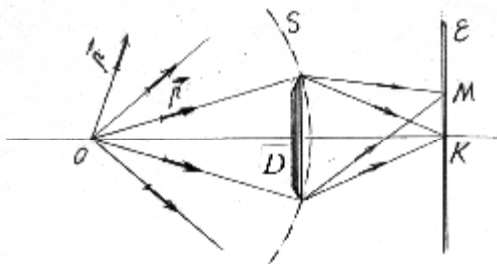


Рис. 6.2

Кванты, которые излучаются некоторым точечным источником O и распространяются как колеблющиеся частицы (фотоны), попадают на края диска D . Возбужденные электроны на краях диска колеблются с одинаковой фазой, однако переизлученные фотоны с

разных частей диска приходят в точки K , M экрана с разными фазами, в результате чего наблюдается дифракционная картина с максимумами и минимумами.

В случае дифракционной решетки излучающими элементами (осцилляторами) являются **резкие края** царапин (штрихов) на прозрачной пластинке.

Нужно акцентировать, что именно **острые края преград** являются **переизлучателями света**, а не **прозрачные промежутки (щели) между ними**, как это традиционно считается [11. - С. 372].

Переизлучателями света,
являются резкие края преград
а не прозрачные промежутки
(щели) между ними, как это
традиционно считается

6.2. Особенности расчета дифракционной картины на основе волнового подхода

С точки зрения волновой теории света, в соответствии с принципом Гюйгенса, каждый элемент волновой поверхности является источником новых волн. Таким образом, источник света будто бы заменяют волновой поверхностью, которая светится. При этом волновая поверхность разбивается на зоны Френеля, которые учитывают разность фаз лучей из-за разной длины их хода в точку наблюдения K (рис. 6.3).

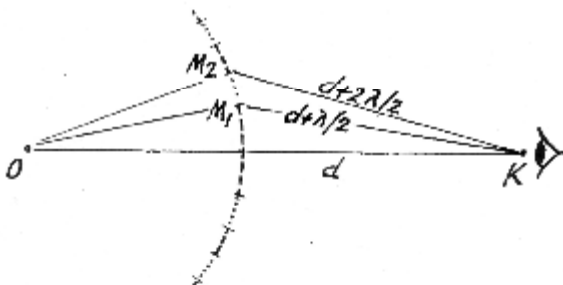


Рис. 6.3

В результате в точке K имеет место интерференция лучей от всех элементов волновой поверхности. Соответственно проводится расчет дифракционной картины: каждая зона Френеля разбивается на бесконечно малые элементы и находится результат действия всех элементов для всех зон в точке наблюдения.

Особенностью принципа Гюйгенса-Френеля, таким образом, является то, что **источник света заменяется волновой поверхностью, которая светится**. Нужно отметить, что рассмотренный способ расчета дифракционной картины является формальным, поскольку свет

рассматривается как некоторый абстрактный волновой процесс, при котором не учитываются квантовые свойства света.

Такой подход допустим для волн, которые распространяются в среде, но в принципе неприемлем для света, природа которого двойственная – свет является волнами и частицами одновременно, а среда для распространения световых волн отсутствует.

6.3. Дифракция света с точки зрения квантовых представлений

Рассмотрение дифракции на основе квантового подхода должен лишь дополнить описание явления дифракции. Однако учет квантовых свойств света приводит к принципиальным несогласованностям с волновой теорией света и даже с традиционным трактованием дифракции. С точки зрения квантовых представлений свет – это поток фотонов – особых частиц, которые находятся в колебательном состоянии, имеют частоту и фазу (см. 2.1. – С. 26). Фотон как частица имеет импульс и поскольку существует закон сохранения импульса, то это необходимо учитывать при рассмотрении явления дифракции. Наличие импульса у фотона противоречит принципу Гюйгенса относительно распространения волн. Согласно принципу Гюйгенса каждый элемент волновой поверхности является источником новых волн. Однако фотон, дойдя к элементу волновой поверхности dS (рис. 6.4) в соответствии с законом сохранения импульса не может изменить направления своего движения и не может попасть в точку наблюдения K , что противоречит принципу Гюйгенса.

произойдет взаимодействие фотона с преградой и переизлучение в каком-то направлении, в частности и в направлении K .

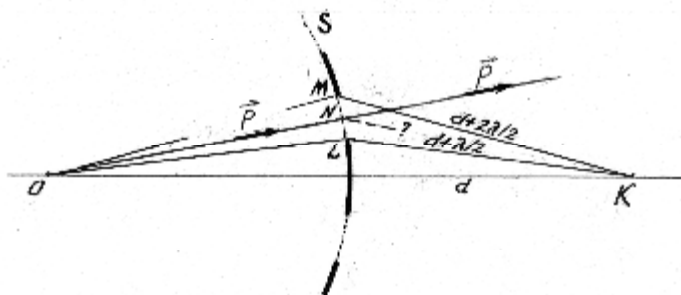


Рис. 6.5

Таким образом, края преграды в точках M и L становятся когерентными источниками, которые создают интерференционную картину и в точке K дают определенное значение интенсивности (максимум или минимум). Резкость краев преграды имеет принципиальное значение, поскольку лишь при таких условиях обеспечивается "точечность" источников и выразительность интерференционной (дифракционной) картины.

Заметим, что излучающими элементами, т.е. когерентными источниками при дифракции являются не открытые части волновой поверхности $M-L$, а края зонной пластинки (точки M и L), где происходит переизлучение света.

Излучающими элементами
(когерентными источниками)
при дифракции являются
не открытые участки
волновой поверхности,
а края преграды

6.4. Дифракция на щели с точки зрения квантового подхода

Для подтверждения тождественности понятий интерференции и дифракции нами проведен эксперимент по наблюдению дифракции на щели. Луч гелий-неонового лазера направлялся на узкую щель и на экране возникала четкая интерференционная картина со многими максимумами и минимумами (рис. 6.6).

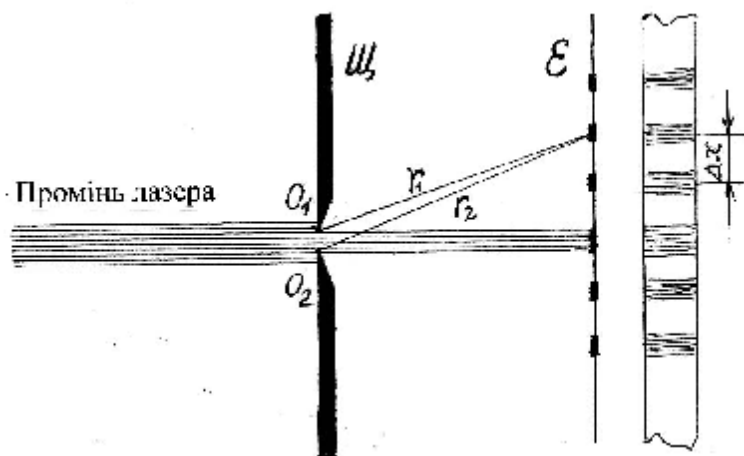


Рис. 6.6

На рис. 6.7 представлена фотография реальной дифракционной картины, на которой видно яркую центральную часть в результате прямого освещения лучом, а по бокам – периодическую структуру максимумов и минимумов дифракционной (интерференционной) картины.

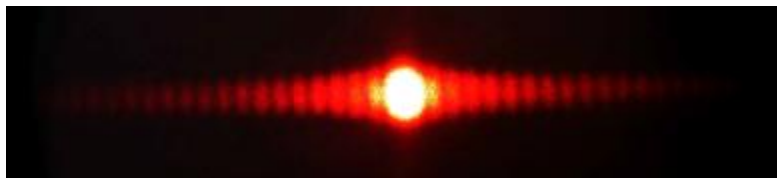


Рис. 6.7

Измерение ширины интерференционной полосы Δx (расстояния между двумя максимумами), расстояния между щелью и экраном l , а также ширины щели d дало возможность по формуле для интерференции от двух когерентных источников рассчитать длину волны луча света:

$$\lambda = \frac{d}{l} \cdot \Delta x. \quad (1)$$

Заметим, что в данном случае когерентными источниками мы считаем края щели, поэтому ширина щели d является расстоянием между когерентными источниками.

В эксперименте при ширине щели $d = 0,28$ мм, расстоянии от щели до экрана $l = 100$ см на промежутке $h = 10,0$ см наблюдалось 36 максимумов (т.е., расстояние между двумя соседними максимумами $\Delta x = 2,8$ мм). Рассчитанная по формуле (1) длина волны ($\lambda = 0,66$ мкм, что в пределах погрешности измерения $\Delta\lambda = 0,04$ мкм совпадает с длиной волны гелий-неонового лазера ($\lambda = 0,63$ мкм).

Рассматривая свет из позиции квантово-колебательной теории как поток особых частиц – фотонов, которые находятся в колеблющемся состоянии, получаем непротиворечивые с точек зрения классического и квантового подходов представления о явлениях интерференции и дифракции света. Приходим к выводу, что дифракция – это лишь разновидность интерференции, когда

когерентными источниками являются острые неоднородности преграды на пути лучей. В дифракционной решетке когерентными источниками являются края "штрихов", а не прозрачные промежутки между ними.

6.5. Расчет интерференционной картины дифракционной решетки на основе квантовых представлений о свете

Выясним характер дифракционной картины, которая создается дифракционной решеткой – периодической структурой из многих узких щелей. **Традиционные расчеты**, как и в случае с одной щелью, **базируются на принципе Гюйгенса-Френеля**, т.е. на представлениях, что излучение идет от открытых участков волновой поверхности дифракционной решетки [11. – С. 392; 16. – С. 269]. Поскольку такая модель противоречит квантовой теории света (см. 2. – С. 24), дифракцию на дифракционной решетке (ДГ), как и в случае с одной щелью, мы будем рассматривать как **интерференцию от большого количества (N) когерентных источников**, которыми являются **острые края непрозрачных промежутков** в периодической структуре решетки (рис. 6.8).

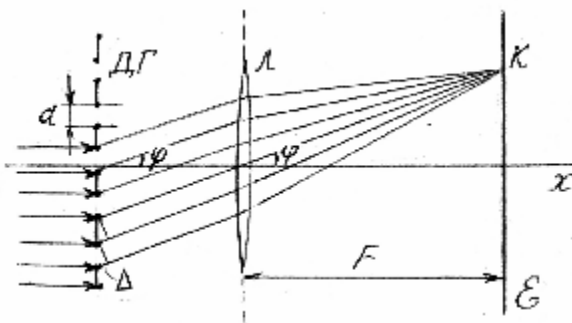


Рис. 6.8

Итак, пусть параллельный пучок лучей падает на дифракционную решетку (ДГ) и ее края становятся когерентными источниками, которые колеблются с одинаковой фазой и излучают свет под разными углами (рис. 6.8).

Параллельные лучи в некотором направлении ф линзой Л фокусируются на экране и в точке К амплитуда колебаний будет определяться суммой

$$E = E^* \cos(\omega t) + E^* \cos(\omega t + \varphi) + \\ + E^* \cos(\omega t + 2\varphi) + \dots + E^* \cos(\omega t + N\varphi), \quad (1)$$

где E^* – амплитуда колебаний от одного отдельного источника. Важно, что между колебаниями, которые пришли от соседних источников в точку К, существует разность фаз ψ , обусловленная разностью хода лучей Δ :

$$\psi = \kappa \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta, \quad (2)$$

где $\kappa = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число.

Для определения суммы E воспользуемся геометрическим способом сложения колебаний [11. – С. 378; 12. – С. 158; 17. – С. 61]. Для этого колебание каждого из

источников представим векторами $\vec{OK}, \vec{KL}, \dots$, ориентация которых определяет фазу колебаний в точке К (рис. 6.9).

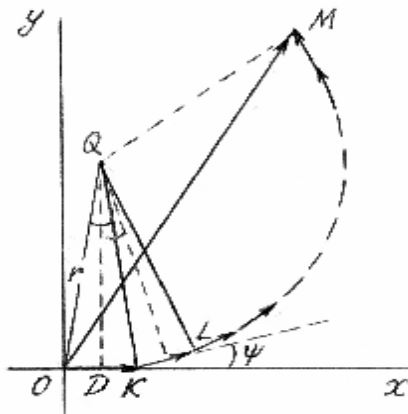


Рис. 6.9

Сложенные векторы образуют многоугольник с N сторонами, вершины которого лежат на окружности радиуса r и с центром в точке Q . Из построения видно, что угол OQK равен ψ , т. е. разности фаз колебаний двух соседних источников.

Поскольку

$$DK = OK / 2 = r \cdot \sin(\psi/2), \quad (3)$$

то

$$OK = 2r \cdot \sin(\psi/2). \quad (4)$$

Для большого угла OQM суммарный вектор \vec{OM} имеет длину:

$$OM = 2r \cdot \sin(N \times \psi/2). \quad (5)$$

Разделив уравнение (5) на уравнение (4), получаем выражение для длины суммарного вектора \vec{OM} , которая равна амплитуде колебаний:

$$OM = OK \frac{\sin(\frac{N\psi}{2})}{\sin(\frac{\psi}{2})}. \quad (6)$$

Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды:

$$I = (OM)^2 = (OK)^2 \frac{\sin^2(\frac{N\psi}{2})}{\sin^2(\frac{\psi}{2})}. \quad (7)$$

Обозначим $(OM)^2 = I$, $(OK)^2 = I^*$.

Тогда

$$I = I^* \frac{\sin^2(\frac{N\psi}{2})}{\sin^2(\frac{\psi}{2})}, \quad (8)$$

Согласно (8), при $N = 1$ $I = I^*$ является интенсивностью колебаний в точке K от одного осциллятора (рис. 6.8). Разность фаз ψ обусловлена разностью хода Δ между соседними лучами (2):

$$\psi = \kappa \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta. \quad (9)$$

Согласно рис. 6.8 $\Delta = d \sin \varphi$, где d – расстояние между соседними осцилляторами. Поэтому (9) запишем :

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi. \quad (10)$$

Тогда выражение (8) для интенсивности будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
I &= I^* \frac{\sin^2(\frac{N \cdot \Psi}{2})}{\sin^2(\frac{\Psi}{2})} = \\
&= I^* \frac{\sin^2(\frac{N}{2} \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi)}{\sin^2(\frac{1}{2} \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi)} = \\
&= I^* \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \varphi)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \varphi)}. \tag{11}
\end{aligned}$$

Как видим, интенсивность дифрагированных лучей зависит от количества осцилляторов N и от угла φ их направления.

Отметим, что формула (11) получена для интенсивности света, излучаемого периодической структурой точечных источников, и она полностью совпадает с формулой для дифракционной решетки, рассчитанной на основе принципа Гюйгенса-Френеля, когда считается, что излучение вторичных волн идет от каждого элемента открытой части волновой поверхности между краями преграды [11. – С. 392; 16. – С. 269]. Однако нужно обратить внимание на некорректность рассуждений и расчетов, проведенных на основе принципа Гюйгенса-Френеля, поскольку для света абстрактный элемент волновой поверхности, не может быть источником фотонов, которые излучаются в разные стороны, так как фотон имеет импульс и он не может изменить направления своего движения, чтобы попасть в точку K (см. рис. 6.4). А это

значит, что элемент волновой поверхности не может стать источником вторичных волн, откуда идет переизлучение в точку наблюдения K .

Таким образом, дифракция – это разновидность интерференции, особенность которой в том, что когерентными источниками являются острые края препятствия. Явление дифракции полностью объясняется с точки зрения интерференции, поэтому его традиционное рассмотрение на основе принципа Гюйгенса с точки зрения методики нельзя считать корректным, поскольку это противоречит квантовой теории света.

Объяснение дифракции
на основе принципа
Гюйгенса противоречит
квантовой теории света

7. ОПИСАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОСНОВЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ СВЕТА

7.1. Метод графического сложения амплитуд при дифракции с точки зрения квантовой теории света

Для объяснения дифракционных явлений традиционно используется метод зон Френеля, который состоит в замене источника света волновой поверхностью и разбивкой ее на зоны таким образом, что свет от каждой соседней зоны приходит в точку наблюдения в противофазе (рис. 7.1). Для расчета амплитуды колебаний в точке наблюдения K используется удобный и наглядный способ представления колебаний с помощью векторов, длина которых характеризует амплитуду колебаний, а ориентация – фазу колебаний [12. – С. 158]. Поверхность одной зоны Френеля (на рисунке зона M_0M_1) разбивается на элементы $1, 2, 3 \dots$, каждый из которых представляется в точке наблюдения K элементарным вектором $1\zeta, 2\zeta, 3\zeta$.

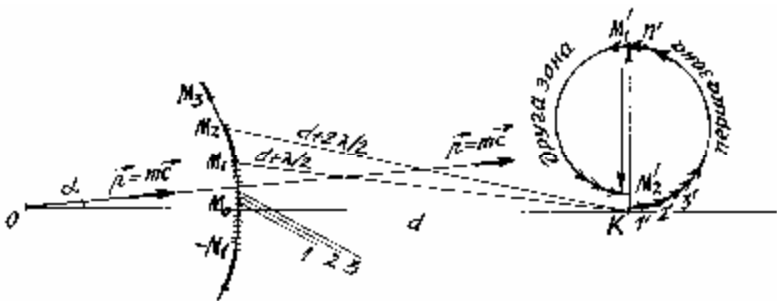


Рис. 7.1.

Последний элемент зоны M_0M_1 характеризуется вектором 1ζ , который в соответствии с условиями разбивки на зоны, ориентирован противоположно к первому вектору 1ζ . Вся зона, таким образом, характеризуется вектором $\overline{KM_1}'$.

Однако, как показано в 6.3 (рис. 6.4), исходя из квантовых представлений, для света волновая поверхность является абстрактной и реально она не может заменить точечного источника, поскольку фотоны, которые распространяются под некоторым углом к направлению OK , сохраняют свой импульс \vec{p} и от разных точек волновой поверхности не могут попасть в точку наблюдения K (рис. 6.4). Поэтому сложение векторов 1ζ 2ζ 3ζ .. и т.д. лишено какого-либо содержания. Физический смысл имеет лишь первый вектор (1ζ), так как он сориентирован на точку K , а также последний вектор 1ζ , который характеризует переизлучение от края M_1 зонного кольца M_1M_2 , которое прикрывает вторую зону (на рис. 7.1 выделено жирным) и на краю которого в точке M_1 и происходит дифракция. Только эти два вектора характеризуют в данном случае первую зону M_0M_1 и создают дифракционную картину в точке K . При этом нужно иметь в виду, что луч $O-M_0-K$ является прямым лучом от источника O , тогда как луч $O-M_1-K$ – луч дифрагированный, т.е. переизлученный на краю M_1 зонного кольца (рис. 7.1). Поэтому амплитуда колебаний, которые идут от точки M_0 , должна представляться более длинным вектором 1α чем амплитуда колебаний дифрагированного света от точки M_1 (вектор 1α). На рис. 7.2 качественно представленные эти два вектора.

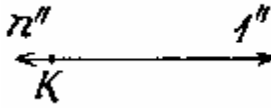


Рис. 7.2.

Векторы l'' и n'' в данном случае направлены противоположно и вычитаются, поэтому результирующая амплитуда их действия в точке K будет меньше, чем бы это было при прямом освещении (заметим, что вектор l'' характеризует амплитуду прямого луча от источника).

Если зонной пластинкой прикрыть еще и другие четные зоны, например, M_2M_3 и т.д., то есть смысл учитывать дифракцию от их краев, что будет несколько увеличивать или уменьшать амплитуду колебаний в точке K , которая будет определяться главным образом вектором l'' (рис. 7.2), который характеризует свет, идущий непосредственно от источника из точки O .

Таким образом, метод графического сложения амплитуд, который базируется на методе зон Френеля и используется при описании дифракции света, не согласуется с рассмотрением дифракции с точки зрения квантовой теории света, поскольку в создании дифракционной картины принимают участие не любые точки волновой поверхности, а лишь края преград, которые могут переизлучать свет. Этот метод не дает возможности рассчитать дифракционную картину так, чтобы волновой и квантовый подходы при описании явления дифракции давали одинаковый результат.

Несостоятельность метода графического сложения амплитуд является отображением несостоятельности идеи зонных пластинок.

Метод графического
сложения амплитуд,
который используется при
описании дифракции света,
не согласуется
с рассмотрением дифракции
с точки зрения квантовой
теории света

В создании
дифракционной картины
принимают участие
не любые точки
волновой поверхности,
а лишь края преград,
которые могут
переизлучать свет

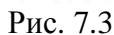
7.2. Зонные пластинки с точки зрения квантовой теории света

Традиционно объяснение дифракции волн основывается на принципе Гюйгенса относительно распространения волн, согласно которому каждая точка волновой поверхности является центром новых волн. Однако при таком рассмотрении возникают принципиальные несогласования и противоречивые выводы. Это можно видеть при рассмотрении явления дифракции на зонных пластинках.

Идея зонных пластинок базируется на принципе Гюйгенса-Френеля, согласно которому точечный источник света O заменяется волновой поверхностью S [14. – 205], от каждого элемента которой свет распространяется по всем направлениям и в некоторую точку пространства K приходит с соответствующими фазами колебаний, который определяет интенсивность света в точке K (рис. 6.4).

Если разбить волновую поверхность на зоны по методу Френеля и изготовить пластинку из системы сегментных колец, которые отвечают четным или нечетным зонам, то можно прикрыть зоны, от которых свет идет в противофазе, что должно бы дать значительно большую интенсивность, чем при открытом фронте волны. На рис. 7.3 жирными линиями обозначенные кольца зонной пластинки, которые прикрывают нечетные зоны Френеля.

В таком случае зонная пластинка (так называемая амплитудная зонная пластинка) должна действовать как линза [12. – 156]. В учебной литературе утверждается, что зонные пластинки дают возможность в несколько раз усиливать интенсивность света, который идет от точечного источника [11. – С. 380; 16. – С. 274].



92

Обратим внимание на то, что согласно таким соображениям свет не излучается открытыми зонами, а “переизлучается” лишь краями зонных колец. Но поскольку это **дифрагированные** лучи, то их интенсивность мала по сравнению с интенсивностью прямых лучей, которые идут от источника света O . Поэтому уже из этих соображений нельзя говорить о каком-то увеличении интенсивности света с помощью зонных пластинок по сравнению с действием открытого фронта волны, т.е. сравнительно с прямым освещением точки K . Более того, говорить об усилении света нельзя еще и потому, что свет от краев каждой двух соседних сегментных зонных колец (точки L и M) приходит в точку K в противофазе.

Все сказанное также касается фазовой зонной пластинки, назначение которой не только в том, чтобы исключить действие зон, свет от которых идет в противофазе, но изменить их фазу на противоположную и таким образом добиться еще большего усиления света.

Оптический прибор, который имеет название “зонная пластинка”, может быть реализован как дифракционная решетка. В отличие от “гипотетической” зонной пластинки, в которой излучение происходит от неприкрытых частей волновой поверхности, в Действительности излучение идет лишь от краев каждой зоны пластинки. Поэтому расчет зон необходимо делать таким образом, чтобы свет от краев зон в точку наблюдения K приходил в фазе.

На рис. 7.4 жирными линиями изображены кольца зон Френеля, от краев которых свет приходит в точку K в фазе.

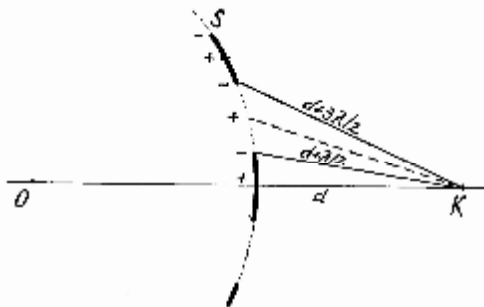


Рис. 7.4

Таким образом, свойство зонных пластинок усиливать свет, с точки зрения квантовой природы света, по нашему убеждению, является необоснованным. Современные технологии дают возможность изготовления совершенных зонных пластинок, однако нам неизвестны хотя бы лабораторные образцы таких оптических приборов, которые бы давали усиление интенсивности в несколько раз. Существующие же образцы зонных пластинок, на наш взгляд, являются не чем иным, как вариантами более или менее удачных дифракционных решеток.

**Свойство зонных
пластинок усиливать свет
с точки зрения квантовой
природы света является
необоснованным
и невозможным**

7.3. Экспериментальное подтверждение квантового трактования явления дифракции

Для того, чтобы подтвердить справедливость высказанных соображений, достаточно поставить опыт, когда центральная (нечетная) зона M_0M_1 прикрыта зонным кольцом (сегментом) и прямой луч в точку K не попадает, а открыты четные зоны (например, вторая зона M_1M_2 на рис. 7.5).

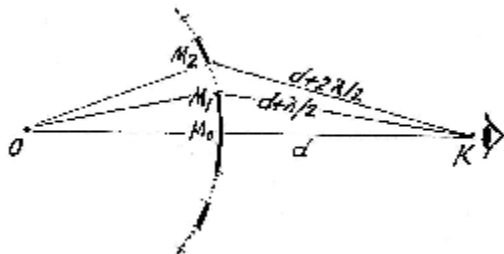


Рис. 7.5

Тогда согласно принципу Гюйгенса все точки этой открытой зоны M_1M_2 должны бы быть источниками "новых волн" и из точки K должно бы наблюдаться свечение этой зоны. На спирали рис. 7.1 действие зоны M_1M_2 в точке K характеризуется вектором $\vec{M_1'M_2'}$, который по величине сопоставим с вектором $\vec{KM_1'}$. Это значит, что из точки K (рис. 7.5) должно наблюдаться яркое свечение открытой второй зоны, по интенсивности сопоставимое с прямым лучом.

Однако, исходя из квантовых представлений, свечение открытой второй зоны (как и других) невозможно, поскольку фотоны, согласно закону сохранения импульса $\vec{p} = m\vec{c}$, из поверхности открытой зоны попасть в точку K не могут (рис. 7.3). Наблюдать

можно лишь лучи, дифрагированные от краев M_1 и M_2 зонных колец. Но, во-первых, эти лучи являются дифрагированными (т.е. переизлученными на краях), поэтому интенсивность их небольшая. И во-вторых, они, в соответствии с разбивкой волновой поверхности на зоны в точке K , дают колебания в противофазе. Т.е. дифрагированные от краев M_1 и M_2 зонных колец лучи должны взаимно погашаться.

Таким образом, исходя из волновой теории дифракции, открытая зона должна светиться, тогда как с точки зрения квантовой теории, когда свет представляется как поток фотонов – частиц, которые находятся в колебательном состоянии – свечение открытой зоны наблюдаться не должно. Поэтому можно сделать вывод, что построение спирали из векторов, которые представляют элементы зоны Френеля, теряет смысл.

Для решения обозначенного разногласия нами был поставленный эксперимент по выявлению светимости отдельно выделенной зоны Френеля.

**Исходя из квантовых
представлений, наблюдать
можно лишь лучи,
дифрагированные от краев
зонных колец**

7.4. Светится ли зона Френеля ?

Луч лазера L направлялся на узкую щель \mathcal{C}_1 , которая выполняла роль точечного источника света (рис. 7.6).

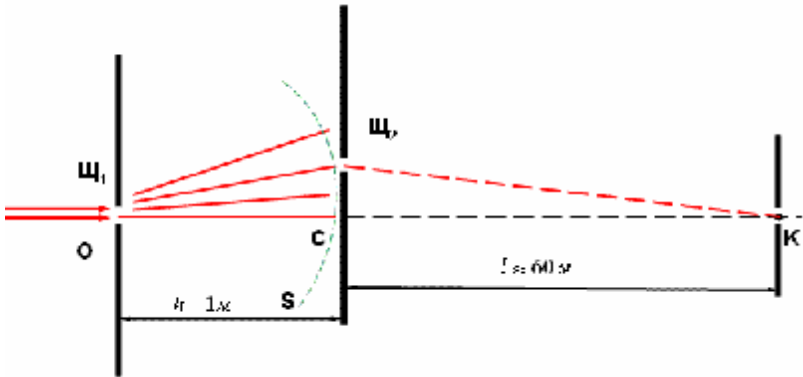


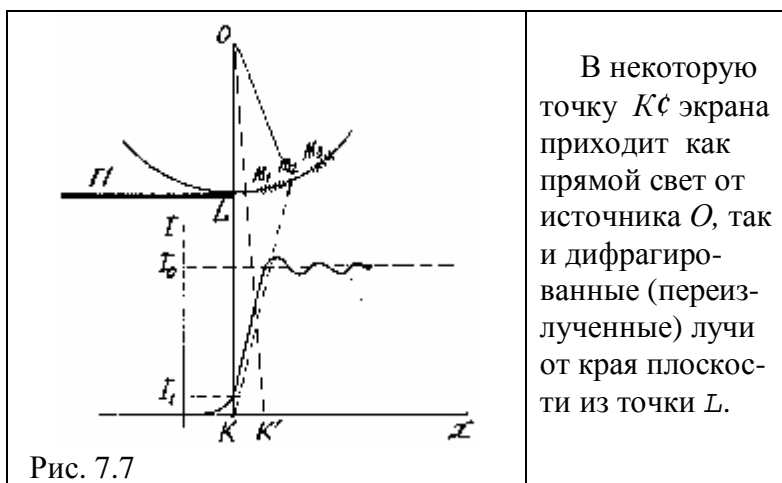
Рис. 7.6

Волновая поверхность S условно разбивалась на зоны Френеля. В соответствии с параметрами установки ширина зоны Френеля была ≈ 1 мм. Перемещение узкой щели \mathcal{C}_2 (уже ширины зоны Френеля) вместе с преградой P , которая прикрывала прямой луч OK , в разные точки волновой поверхности не обнаруживало свечения этих точек как источников новых волн. Лишь размещение щели \mathcal{C}_2 в точке C давало возможность наблюдать прямой луч от щели \mathcal{C}_1 .

Таким образом, **результаты экспериментальных исследований согласуются не с волновым, а с квантовым подходом при рассмотрении дифракции света.**

7.5. Дифракция на прямолинейном крае плоскости с точки зрения квантового подхода

Рассмотрим дифракцию на прямолинейном крае плоскости Π (рис. 7.7).



В зависимости от разности хода прямого $OK\zeta$ и дифрагированного $LK\zeta$ лучей в точке $K\zeta$ будет наблюдаться результат интерференции.

Слева от точки K можно наблюдать лишь свет, дифрагированный в точке L (ход фотона $O-M_2-K$, например, исходя из закона сохранения импульса, невозможен). Поэтому он будет давать небольшую интенсивность I_1 .

Смещение точки $K\zeta$ вправо даст периодическое изменение интенсивности вокруг значения I_0 , которое наблюдается при открытой волновой поверхности, поскольку лучи, приходящие из точек O и L , будут иметь разные фазы.

Таким образом, векторное представление амплитуды колебаний (спирали Корню), от элементов четных и нечетных зон, как и в случае зон Френеля на сферических волновых поверхностях, является абстракцией и не имеет физического содержания.

7.6. Экспериментальная проверка действия зон Френеля

От точечного источника O свет направлялся на узкую щель (шириной 1 мм) в преграде D , которая находилась на расстоянии 1 м от источника (рис. 7.12).

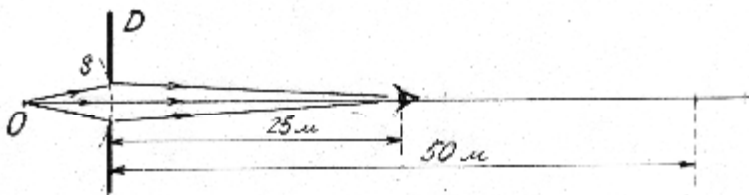


Рис. 7.12

За щелью наблюдалась дифракция лучей, которая, согласно волновым представлениям, должна давать на разных расстояниях от щели минимумы и максимумы освещенности. Так, по расчетам, на расстоянии 25 м , когда из точки наблюдения видно 2 зоны Френеля, должно наблюдаться темное пятно, а из расстояния 50 м — светлое. Однако при отдалении от щели интенсивность уменьшается плавно и очень медленно, а периодического изменения интенсивности экспериментально не выявлено. Таким образом, эксперимент подтверждает некорректность применения принципа Гюйгенса-Френеля при объяснении дифракции и необходимость учета корпускулярной природы света.

7.7. Проблемность задач на тему дифракции

При рассмотрении явления дифракции проявляется двойственность природы света. Традиционно дифракция объясняется на основе принципа Гюйгенса-Френеля, который является выражением волнового подхода. Поэтому возникает необходимость все выводы согласовывать с корпускулярным подходом, поскольку физическое явление не зависит от того, как мы его описываем. Однако сопоставление волновых и корпускулярных представлений приводит к принципиальным противоречиям, которые нуждается в анализе и объяснении. Такие проблемы возникают при изучении явления дифракции в высшей школе, в частности при решении задач.

Рассмотрим характерные задачи из наиболее известных сборников задач для высшей школы.

16.28. Свет от монохроматического источника ($\lambda = 600$ нм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием. Диаметр отверстия 6 мм. За диафрагмой на расстоянии 3 м от нее находится экран.

- 1) Сколько зон Френеля укладывается в отверстии диафрагмы ?
- 2) Каким будет центр дифракционной картины на экране : темным или светлым ? [18].

24-1. Между точечным источником света ($\lambda = 0,50$ мкм) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиуса $r_0 = 1,0$ мм. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана равны соответственно $R = 1,00$ и $r_0 = 2,00$ г.

Как изменится освещенность в центре экрана, если диафрагму убрать ? [19].

Пример 8 [20.С. –293]. На круглое отверстие радиуса 1,0 мм в непрозрачном экране падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, которые прошли через отверстие, размещен экран. Определить максимальное расстояние от отверстия до экрана, при котором в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно ?

31-3. На круглое отверстие диаметром $d = 4$ мм падает нормально параллельный пучок света ($\lambda = 0,5$ мкм). Точка наблюдения находится на расстоянии $R_0 = 1$ м от отверстия. Сколько зон Френеля укладывается в отверстие ? Темное или светлое пятно будет наблюдаться, если на место наблюдения поместить экран ? [20].

5.100. Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на экран с круглым отверстием. Какая интенсивность света I за экраном в точке, для которой отверстие равно первой зоне Френеля; внутренней половине первой зоны ? [21].

Представленные здесь и другие задачи построены на основе волнового подхода и не учитывают квантовых свойств света. Поэтому уже в содержание задач заложена некорректность, которая делает невозможным их правильное решение. Некорректность имеет принципиальный характер, так как согласно принципу Гюйгенса-Френеля каждая точка волновой поверхности является источником новых волн, что для света невозможно реализовать, поскольку движение фотона как частицы подлжит закону сохранения импульса. Фотон, имея импульс \vec{p} , не может изменить направления движения и попасть, например, от элемента волновой поверхности dS в точку K (рис. 7.8).

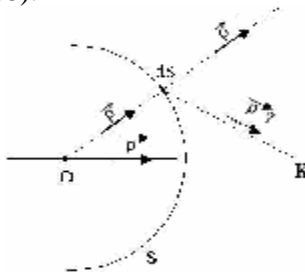


Рис. 7.8

Однако во всех задачах считается, что от каждого элемента зон Френеля свет может распространяться в разных направлениях и, в частности, в точку наблюдения K , с чем согласиться невозможно, поскольку это противоречит закону сохранения импульса. Именно вследствие закона сохранения импульса фотон из некоторой абстрактной точки N волновой поверхности S не может двигаться в направлении K (рис. 7.9).

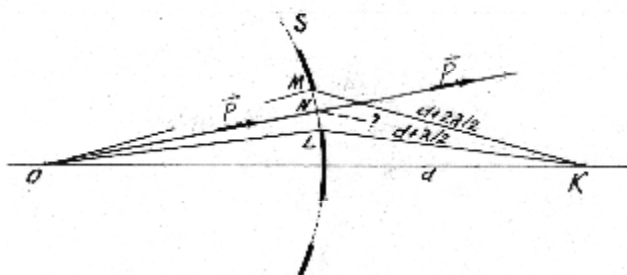


Рис. 7.9

При решении задач на дифракцию нужно учитывать еще одно существенное обстоятельство – необходимо различать **прямые** и **дифрагированные** лучи. Если считать, что нечетные зоны прикрыты непрозрачными кольцами (на рис. 7.9 выделены жирным), то **прямой свет** в точку K не попадает. Но лучи, **дифрагированные на резких краях** M и L колец, уже могут распространяться в точку K или в другом направлении и создавать на экране e интерференционную картину.

Если же открыта центральная зона, то толкование дифракции должно быть несколько другим (рис. 7.10).

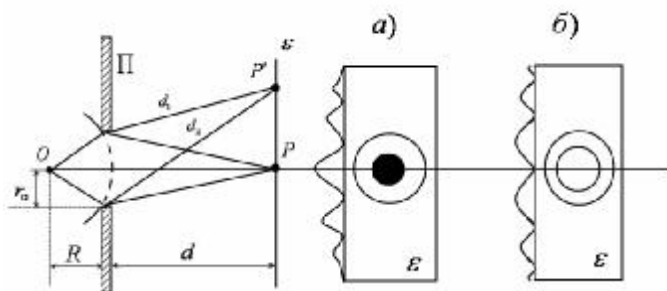


Рис. 7.10

В этом случае имеет место как **прямое освещение** экрана – луч OP , так и **освещение дифрагированным лучом** от края преграды. Конечно, в этом случае также возникнет дифракционная картина и в центре экрана в точке P будет максимум (а) или минимум (б) интерференции, что зависит от разности хода прямых и дифрагированных лучей. Однако **отличие в освещенности между максимумом и минимумом будет незначительной** из-за того, что интенсивность дифрагированного луча очень мала по сравнению с прямым лучом и заметить эту разность на фоне сильного прямого освещения вряд ли возможно. Поэтому вопрос в задаче 16.28 [18] каким будет центр дифракционной картины на экране – темным или светлым – нельзя считать корректным, так как центр дифракционной картины всегда будет светлым, правда несколько больше или меньше.

Аналогичные замечания касаются и других задач.

Проанализируем приведенное в сборнике [19] решение задачи 24.1 на дифракцию света на круглом отверстии.

В пояснении говорится, что в результате дифракции на краях отверстия на экране возникает дифракционная картина – светлые и темные кольца. А в центре будет светлое или темное пятно в зависимости

от числа зон Френеля, которые укладываются на поверхности волнового фронта в пределах отверстия. Такой вывод нельзя считать корректным, так как, во-первых, экран в центре будет освещен прямыми лучами, а дифрагированные лучи от краев отверстия лишь несколько изменяют его освещенность. Во-вторых, не учтено, что свет – это поток частиц (фотонов). В данном случае, согласно проведенным расчетам, в отверстии укладывается 3 зоны Френеля. Фотоны от второй и третьей зоны попасть в центр экрана не могут вследствие закона сохранения импульса (рис. 7.11).

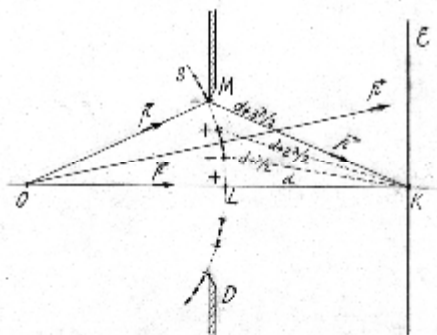


Рис. 7.11

Это значит, что в центр экрана попадут только фотоны центральной зоны и от краев отверстия. Но колебания этих фотонов, согласно построению зон, происходят в противофазе, что должно дать ослабление освещенности экрана. В решении же делается вывод, что поскольку согласно принципу Гюйгенса две зоны компенсируют одна другую, то третья зона в центре даст светлое пятно. Как видим, волновой и квантовый подходы дают совсем противоположные результаты.

Проанализируем приведенный в сборнике [20] пример 8 решения задачи на дифракцию параллельных лучей. В задаче спрашивается, когда в центре экрана

будет наблюдаться темное пятно. Во-первых, центр экрана всегда будет освещен прямыми лучами и темного пятна не будет, а лишь несколько большая или меньшая освещенность вследствие наложения сильного прямого луча и слабого дифрагированного от края отверстия (рис. 7.10). Во-вторых, согласно волновому подходу темное пятно должно наблюдаться, когда в отверстии уложится 2 зоны Френеля. Однако согласно квантовому подходу в центр экрана могут попасть только фотоны первой (центральной) зоны и фотоны, дифрагированные от края отверстия. По условию край отверстия совпадает с краем второй зоны, а это значит, что центральный и дифрагированный от края отверстия лучи находятся в фазе и должны дать усиление освещенности экрана. Таким образом, результаты решения задачи при волновом и квантовом подходах совсем противоположные.

Из приведенных задач в соответствии с волновым подходом вытекает, что при отдалении экрана от отверстия количество зон Френеля возрастает и соответственно должна чередоваться его светлая и темная освещенность. Согласно квантовому подходу экран в центре должен быть освещенным прямыми лучами и изменение дифракционной картины на фоне этого освещения не может быть заметной. С целью экспериментальной проверки таких противоречивых выводов был поставленный опыт.

**Решения задач при волновом
и квантовом подходах
дают противоречивые
результаты**

При объяснении
дифракции
необходимо учитывать
корпускулярную
природу света

Прочитайте ее. Хотя и кажется,
что писал сумасшедший,
написана она солидно.

Альберт Эйнштейн
(о диссертации де Бройля)

"Движение электрона и любой другой частицы
со спином $1/2$ и отличной от нуля массой
покоя имеет очень сложный характер.

Это движение нельзя описать путем
обычных представлений классической механики.

Если же, однако, отказаться от научной
строгости и попробовать дать весьма
приблизительную наглядную модель, то
можно сказать, что находясь в движении,
частица рядом с регулярным перемещением
осуществляет сложное беспорядочное "дрожание".

О.С. Давыдов. Атомы. Ядра. Частицы.
– Киев: "НАУКОВА ДУМКА". 1973. – С. 18.

Волна де Бройля – это частица,
которая движется поступательно
и еще находится
в колебательном движении типа
энергия → ***масса*** → *энергия* →
→ ***масса*** → *энергия* → ...

8. ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ

В фотоне – элементарной частице света, заложена двойственность природы материи. Действительно, квант света имеет энергию

$$W = h\nu. \quad (1)$$

С другой стороны, энергия

$$W = mc^2. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2), получаем:

$$h\nu = mc^2. \quad (3)$$

Поскольку частота $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то (3) запишем:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = mc^2,$$

откуда

$$\lambda = \frac{h}{mc}. \quad (4)$$

Как видим, в формулу (4) входит длина волны λ как характеристика волновых свойств, так и масса m , которая выражает корпускулярные свойства света.

В свое время по аналогии к свету де Бройль выдвинул гипотезу о волновых свойствах не только света, но также любой частицы, которая движется со скоростью u . Длина волны де Бройля

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{h}{mv} . \quad (5)$$

Гипотеза де Бройля казалась невероятной, но она, как известно, очень скоро нашла полное подтверждение. Она дала возможность объяснить дискретность электронных орбит атома: электрон в атоме ведет себя как волна и на орбите должно укладываться целое число волн де Бройля. На основе идеи волн де Бройля работают электронные микроскопы. Однако с точки зрения классических представлений двойственность природы микрочастиц порождает противоречие, которое традиционная физика объяснить не смогла. Возникал вопрос: почему частицу, которая движется, можно рассматривать как волновой процесс ? Поскольку волновой процесс описывается гармоничными функциями и определяется фазой (ωt), то непонятно, как фаза может характеризовать частицу, которая равномерно движется с некоторой скоростью u ? Как в частице, которая движется равномерно со скоростью u , проявляется колебательный процесс ?

На эти вопросы непротиворечиво позволяет дать ответ теория колебательного движения материи (см. 2.5. – С. 38).

Как с частицей, которая
движется равномерно
со скоростью u , связан
колебательный процесс ?

Чтобы иметь скорость u , частица должна быть ускорена. А если частица ускоряется, то на нее действует сила, вследствие чего выполняется работа, которая, в соответствии с (7) (1.4. – С. 19), идет на увеличение кинетической энергии и на возрастание динамической массы. При возрастании динамической массы запускается механизм колебательного процесса типа:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$$

Таким образом, ускоренная микрочастица переходит в колебательное состояние, при котором происходит пульсация массы (и энергии), так что уже движется не просто частица, а частица специфическая, которая, перемещаясь поступательно, находится еще и в колебательном движении. Такая частица с пульсирующей массой (и энергией) и является волной де Бройля.

Появление волн де Бройля можно продемонстрировать на примере движения электрона в атоме водорода.

**Ускоренная микрочастица
переходит в колебательное
состояние, при котором
происходит пульсация
массы и энергии**

8.1. Электрон в атоме водорода как волна де Бройля

Рассмотрим движение электрона в простейшем атоме – атоме водорода.

В невозбужденном состоянии электрон находится на первой круговой орбите радиуса $r_1 = 0,526 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ и согласно с теорией Бора имеет полную энергию $W_1 = -13,53 \text{ eB}$ (рис. 8.1).

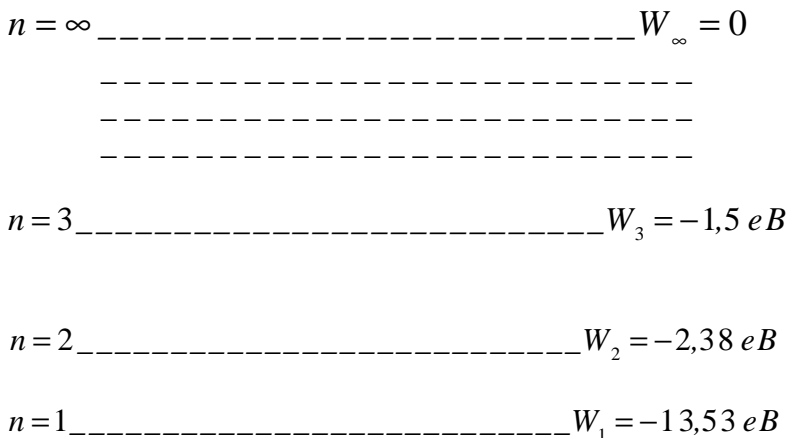


Рис. 8.1

Для отрыва электрона от атома, т.е. для ионизации атома, необходимая энергия

$$\Delta W = W_\infty - W_1 = 13,53 \text{ eB} .$$

Рассмотрим обратный процесс – процесс образования атома водорода.

Пусть электрон находится на довольно большом расстоянии, так, что его можно считать свободным (рис. 8.2).

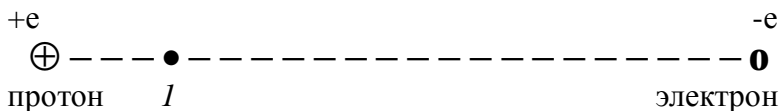


Рис. 8.2

Благодаря кулоновскому взаимодействию электрон движется ускоренно в направлении протона к точке I на расстоянии r_I – первой орбиты электрона в атоме. Потенциал, созданный протоном в точке I ,

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1} = \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,53 \cdot 10^{-10}} = 27,36 \text{ В.}$$

Двигаясь под действием электрического поля, электрон приобретает кинетическую энергию, которая равна работе поля:

$$\begin{aligned} W_k &= e \cdot \Delta\varphi = e\varphi_1 = \\ &= 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 27,36 \text{ Дж} = 27,36 \text{ эВ.} \end{aligned}$$

Электрон в атоме водорода должен быть на орбите в точке I , т.е. он должен дойти к расстоянию r_I (к первой орбите электрона в атоме) и должен иметь кинетическую энергию $W_k = 27,36 \text{ эВ}$.

По теории Бора электрон на первой орбите имеет скорость

$$v_1 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar} = 2,193 \text{ м/с}$$

и соответствующую кинетическую энергию

$$W_{k1} = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (2,193 \cdot 10^6)^2}{2} \text{ Дж} = 13,69 \text{ эВ}.$$

Как видим, рассчитанное согласно традиционным представлениям значение кинетической энергии электрона на орбите $W_k = 27,36 \text{ эВ}$ получается в два раза больше, чем это есть в атоме водорода согласно теории Бора. Такое расхождение объясняется тем, что электрон, ускоряясь в поле протона, доходит до расстояния радиуса орбиты, приобретает кинетическую энергию $W_k = 27,36 \text{ эВ}$, но при этом он еще излучает фотон и теряет часть энергии $h\nu = \Delta W = W_\infty - W_1 = 13,53 \text{ эВ}$.

На энергетической диаграмме рис. 1 это отвечает переходу электрона из уровня W_∞ на уровень W_1 . Таким образом, баланс энергии как бы сохраняется, тем не менее в приведенных оценках не учтено еще одно существенное обстоятельство. Дело в том, что согласно теории относительности при увеличении энергии электрона, который ускоряется, соответственно возрастает масса (динамическая масса):

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{(2,193 \cdot 10^6)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}}} = 9,109776 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$$

Этот прирост массы

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_1 - m_0 = \\ &= (9,109776 - 9,109534) \cdot 10^{-31} = \\ &= 0,00024 \cdot 10^{-31} \text{ кг}. \end{aligned}$$

Можно выдвинуть гипотезу, что именно возрастание динамической массы является причиной волнового процесса при движении электрона на орбите, когда изменение массы, обуславливает соответствующие изменения энергии и наоборот:

$$\Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \dots$$

Интересно, что эквивалентное изменение энергии при изменении динамической массы в процессе ускорения электрона

$$\begin{aligned}\Delta W &= c^2 \Delta m = \\ &= (3 \cdot 10^8)^2 \cdot 0,00024 \cdot 10^{-31} \text{ Дж} = \\ &= 13,5 \text{ эВ}.\end{aligned}$$

При таких условиях электрон, двигаясь по орбите, находится в колебательном состоянии и реализуется такая орбита, во время движения на которой происходит целое число колебаний. При такой интерпретации волны де Бройля вместо абстрактного представления приобретают вполне реальное физическое содержание.

Таким образом, можем сделать вывод: **при движении электрона на орбите в атоме реализуется форма движения материи типа**

$$\text{энергия} \rightarrow \text{масса} \rightarrow \text{энергия} \rightarrow \text{масса} \dots,$$

что можно трактовать как волны де Бройля.

При движении электрона
в атоме реализуется форма
движения материи типа
энергия → масса →
→ энергия → масса...,
что можно трактовать как
волны де Бройля

9. КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ

Мы рассмотрели волны де Бройля как поступательное движение микрочастиц и как волновой процесс. Формула для волны де Бройля кроме длины волны λ_D , как волнового параметра, включает в себя также корпускулярный параметр – массу микрочастицы:

$$\lambda_D = \frac{h}{mv}. \quad (9.1)$$

Тем не менее вопрос двойственности природы микрочастиц – что это и частицы и волны одновременно – трудно дается пониманию, поскольку такое трактование содержит в себе противоречие – частичка локализована, а волна – явление пространственное, что, казалось бы, невозможно согласовать. Кроме того, любой волновой процесс характеризуется фазой, а что является фазой в волнах де Бройля – непонятно. Однако нужно заметить, что гипотеза де Бройля стала убедительной реальностью. На основе этой гипотезы развита такая наука как квантовая механика, которая с большой точностью описывает движение электронов в атомах.

Противоречие двойственности природы микрочастиц устраняется, если движение микрочастицы рассматривать с точки зрения квантово-колебательной природы материи (2,5. – С. 38). Прообразом волны де Бройля является фотон как частица, в которой происходит непрерывный колебательный процесс эквивалентного перехода энергии электрического и магнитного полей в массу и наоборот – массы в энергию фотона. Причем, вся масса фотона здесь динамическая (релятивистская), поскольку массы покоя фотон не имеет.

На рис. 9.1 показаны изменения напряженностей электрического E и магнитного H полей электро-

магнитной волны (график *а*) и соответствующие им изменения (в качественном представлении) массы *m* (график *б*).

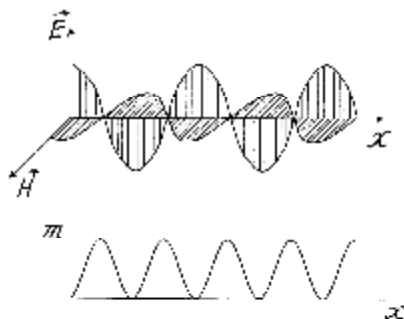


Рис. 9.1

Электрическое и магнитное поля имеют энергию, поэтому при уменьшении E и H уменьшается энергия этих полей и для выполнения закона сохранения уменьшение энергии должно сопровождаться эквивалентным возрастанием массы. Аналогичные изменения происходят и при росте E и H .

По аналогии к свету “волну де Бройля” также можно рассматривать как движение частицы, которая находится в колебательном состоянии, и этот процесс представляет собой периодический переход массы частицы в энергию и наоборот – энергии в массу. Однако важно отметить, что когда в случае с фотоном изменяется вся его масса, здесь преобразования происходят лишь с динамической составляющей массы (рис. 9.2), т.е. с той эквивалентной массой $\Delta m = m - m_0$, которая появляется при возрастании скорости:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{\Delta v^2}{c^2}}}.$$

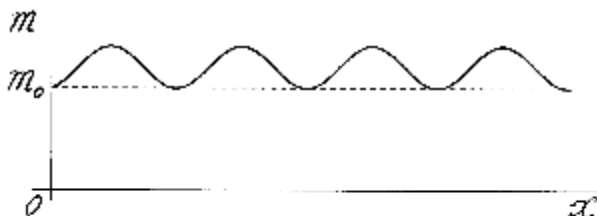


Рис. 9.2

Волну де Бройля можно рассматривать как движение частицы, которая находится в колебательном состоянии, и этот процесс представляет собой периодический переход массы частицы в энергию и наоборот – энергии в массу

9.1. Уравнение Шредингера с точки зрения колебательного движения материи

Колебательный процесс начинается при ускорении микрочастицы, когда возрастает ее скорость и, соответственно, масса. Поскольку в дальнейшем изменение массы имеет колебательный характер, то этот колебательный процесс при движении частицы описывается волновым уравнением. Таким является уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера дает возможность найти некую волновую функцию ψ , квадрат модуля которой определяет вероятность найти частицу в том или другом месте или состоянии. Поскольку понятие вещественности (частица, тело) связано с массой, логично, что вероятность найти частицу должна быть большей там, где ее масса в процессе колебания будет больше.

**Колебательный процесс
при движении частицы
описывается
волновым уравнением.
Таким является уравнение
Шредингера**

9.2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга как следствие колебательного движения материи

С точки зрения «волновых свойств» микрочастиц можно толковать также соотношение неопределенностей Гейзенберга, которое является важным принципом квантовой механики.

Соотношение неопределенностей означает невозможность одновременного точного знания координаты частицы и ее импульса, т.е. означает существование неопределенности Δx и Δp_x :

$$\Delta p_x \Delta x \geq h.$$

Такая неопределенность вытекает из самого состояния микрочастицы.

Поскольку движущаяся микрочастица находится в колебательном состоянии, при котором непрерывно изменяется ее масса, то соответственно изменяется также импульс частицы как количество движения. Следует иметь в виду, что импульс частицы выражается как массой покоя m_0 , так и динамической составляющей Δm . Если считать, что изменение импульса происходит по гармоническому закону, то качественно зависимость $p(x)$ имеет вид, представленный на рис. 9.3.

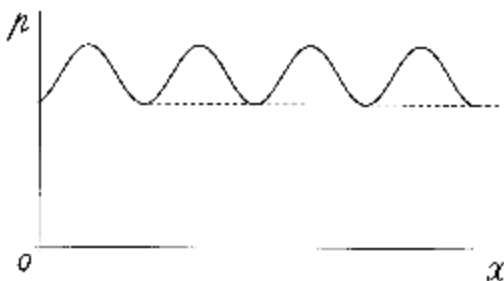


Рис. 9.3

В данном случае мы рассматриваем неопределенность составляющей импульса p_x . Однако импульс частицы ориентирован произвольно и мы не знаем его ориентации, поэтому вынуждены неопределенность Δp_x принять равной величине самого импульса p :

$$\Delta p_x = p. \quad (2)$$

Неопределенность **положения** частицы также имеет вполне выразительный физический смысл. Действительно, поскольку при движении частицы происходит колебание массы (а именно массой определяется наличие самой частицы, т.е. ее вещественность), то эта меняющаяся масса рассосредоточена по длине “волны”. Т.е. неопределенность координаты, где находится масса, равна длине волны де Бройля (рис. 9.4).

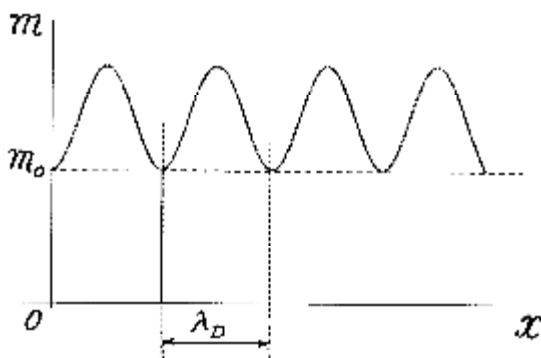


Рис. 9.4

Поэтому можем принять, что

$$\Delta x = \lambda_D. \quad (3)$$

Перемножив соответственно левые и правые части (2) и (3), получаем:

$$\Delta p \cdot \Delta x = p \cdot \lambda_D. \quad (4)$$

Поскольку длина волны де Бройля

$$\lambda_D = \frac{h}{p}$$

то (4) имеет вид:

$$\Delta p \cdot \Delta x = h. \quad (5)$$

Таким образом, исходя из обычных физических представлений, в рамках квантово-колебательной теории материи приходим к выводу, что одновременное точное знание координаты и импульса микрочастицы ограничивается соотношением (5).

Рассмотрение этой проблемы с точки зрения квантово-колебательной теории материи дает возможность приблизиться к пониманию физических процессов, которые происходят с частицей в области микромира, где проявляются другие формы движения материи и которые неявно описывает квантовая механика. Соотношение неопределенностей Гейзенберга приобретает конкретное физическое содержание: точное определение координаты микрочастицы с точки зрения квантовой механики невозможно потому, что оно связано с динамической (релятивистской) составляющей массы частицы, которая находится в колебательном состоянии и эта масса рассосредоточена во времени и пространстве. Т.е. при таких условиях точной координаты частички просто не может быть

Точное определение
координаты микрочастицы
невозможно потому,
что оно связано
с динамической
составляющей массы
частицы, которая находится
в колебательном состоянии
и масса рассосредоточена
во времени и пространстве

Соотношения неопределенностей стали темой философских дискуссий и имели разное толкование. Согласно одному из таких толкований микрочастицы будто бы имеют в каждый данный момент определенные координаты и импульсы, но мы не имеем способа их узнать. Соотношения неопределенностей как бы “запрещают” нам их узнавать, таким образом устанавливая границу познания.

Согласно другому толкованию содержание соотношения неопределенностей не в том, что они ограничивают возможность узнавать точно координаты и импульсы, а в том, что у микрочастиц этих точных одновременных значений просто нет.

Сам Гейзенберг в 1927 г. приходил к выводу, что квантовая механика делает несостоятельным закон причинности, который требует, чтобы на основе точного знания состояния системы в данный момент времени можно было бы предусмотреть состояние для любого будущего момента. Такое вполне возможно в классической механике, но невозможно в квантовой механике, поскольку точное знание начальных значений p_x и x для микрочастиц невозможно.

"Что такое тяготение ?
Ньютон об этом
догадок не строил.
но никто никакого
механизма тяготения
с тех времен не открыл"

Р. Фейнман

10. ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГРАВИТАЦИИ

Колебательное состояние материи позволяет объяснить также гравитационное взаимодействие между телами.

Между физическими телами существует взаимодействие двух видов – притяжение и отталкивание. Взаимное притягивание имеет название гравитации. Формально гравитация описывается законом всемирного тяготения Ньютона, из которого вытекает понятие веса тела, если его масса мала по сравнению с телом, в поле гравитации которого оно находится. Однако мы ничего не знаем о механизме гравитационного взаимодействия тел, хотя теоретических попыток описать природу гравитации есть много, включая общую теорию относительности. Причем, эти объяснения базируются на абстрактных понятиях "искривления пространства", гравитационного поля, гравитационных волн, гравитонов и т.п.. При создании общей теории относительности: А. Ейнштейном высказывалась идея пульсации массы как форма существования материи: *"материя флуктуирует, генерируя гравитационные волны, которые распространяются со скоростью света"* [22]. Есть все основания считать такую форму движения обоснованной. Однако, несмотря на многочисленные дорогостоящие опыты, выявить экспериментально носителей гравитационного взаимодействия пока что не удалось [23]. Поэтому сделаем попытку определить механизм взаимодействия, который является причиной гравитации, исходя из общих физических понятий.

Гравитация относится к слабому типу взаимодействия, однако ее мы очень существенно ощущаем. Гравитация влияет на вещество в любом виде и проявляется там, где есть масса. Даже фотоны, пролетая

возле больших масс, подлежат влиянию гравитации и искривляют траекторию движения.

В физике известны два типа взаимодействия между телами – **через среду и вследствие обмена тел частицами**. Других способов взаимодействия не установлено. Поэтому рассмотрим подробнее механизмы и результаты таких взаимодействий.

**В физике известно
два типа взаимодействия
между телами – через среду
и вследствие обмена тел
частицами**

10.1. Взаимодействие тел через среду

Пусть на воде находятся две лодки. Если одну из них начать расшатывать, то это движение передается через воду (среду) ко второй лодке и она также будет колебаться. А как взаимодействуют Земля и Солнце ? Конечно, можно допустить существования "эфира" или "вакуума", через который осуществляется притягивание тел в космосе. Однако мы не имеем подтверждения существования какой-либо среды (эфира) для объяснения гравитации, поэтому строить гипотезы на предположениях, которые не имеют экспериментального под-

тверждения, и придумывать варианты взаимодействия через гипотетическую среду – не будем. Рассмотрим подробнее другой вариант взаимодействия – через обмен частицами – гравитонами.

10.2. Взаимодействие тел через обмен частицами

Обмен тел обычными частицами, которые имеют массу и импульс, может привести только к их отталкиванию. Например, пусть на воде стоит лодка с ядрами (рис.10.1). Масса лодки m_1 , ее скорость $v = 0$, масса ядра m_2 . Количество движения (импульс) лодки с ядром $K = (m_1 + m_2) \cdot v = (m_1 + m_2) \cdot 0 = 0$.

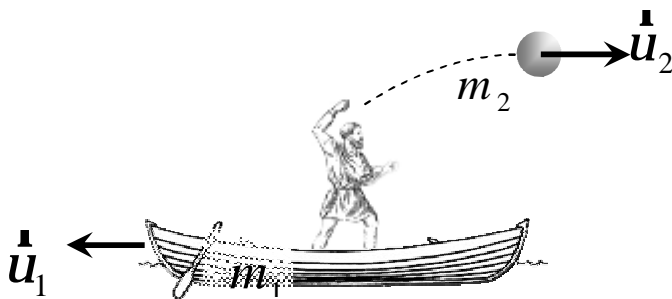


Рис. 10.1

Если выбросить ядро из лодки в правую сторону со скоростью v_2 , то лодка придет в движение в противоположную сторону, т.е. влево. Скорость лодки найдем из закона сохранения количества движения:

$$m_1 v_x + m_2 v_2 = K = 0,$$

откуда $v_x = -(m_2/m_1)v_2$.

Таким образом, скорость лодки направлена противоположно движению ядра.

Если одновременно выбрасывать два ядра в противоположные стороны, лодка будет стоять на месте (рис. 10.2).

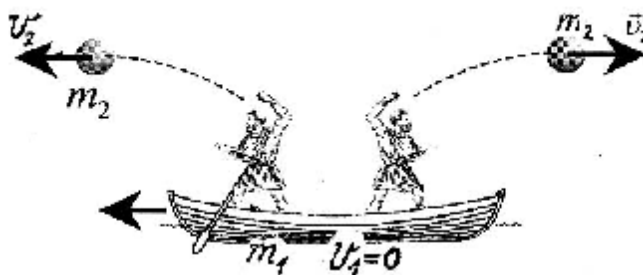


Рис. 10.2

Рассмотрим случай, когда ядро падает на лодку извне (рис. 10.3).



Рис. 10.3

Скорость лодки до взаимодействия $v_1 = 0$, скорость ядра v_2 . Количество движения до взаимодействия

$$K = m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot v_2 = m_2 \cdot v_2,$$

после взаимодействия

$$K' = (m_1 + m_2) \cdot v'_x.$$

Суммарное количество движения до и после взаимодействия не изменяется: $K = K'$. Поэтому

$$m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'_x,$$

откуда скорость лодки после взаимодействия

$$v'_x = \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_2.$$

Т.е. лодка после взаимодействия с ядром, которое упало на нее, будет двигаться в направлении движения ядра – в левую сторону.

Теперь рассмотрим одновременный обмен частицами между двумя телами. Например, две лодки обмениваются ядрами. Попадание ядра из другой лодки, как мы уже рассмотрели, вызовет перемещение в направлении движения ядра, что отдаляет лодки. Выбрасывание ядра на другую лодку также приводит к расхождению лодок (рис. 10.4).

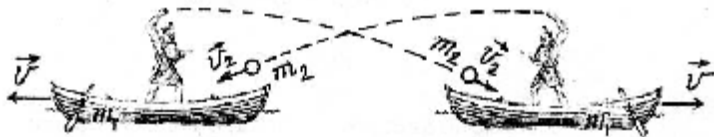


Рис. 10.4

Таким образом, **обычный обмен частицами** между двумя телами приводит **только к отталкиванию** тел. Поэтому, если рассматривать, например, два космических тела M_1 и M_2 , которые имеют массу, то каждое из них в отдельности, излучая частицы во все стороны, будет оставаться на месте. Но принимая удары частиц одно от другого, тела должны отдаляться (рис. 10.5).

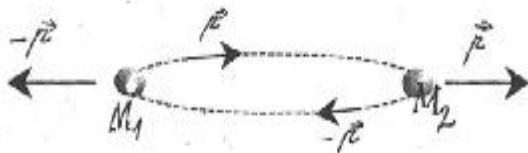


Рис. 10.5

Мы же наблюдаем взаимное притягивание тел. Почему так происходит ?

При рассмотрении механизмов взаимодействия тел мы учитывали массы излучаемых частиц, их скорости, импульсы, закон сохранения импульса. Однако при этом без внимания оставалось одно существенное обстоятельство, а именно – за счет чего частицы, которые испускаются телами, получают импульсы ? Излучение частиц (гравитонов), которые служат причиной эффекта притяжения, логически связать с переходом одного состояния материи в другое – из состояния вещества в поле и наоборот, в соответствии с известным соотношением: $\Delta W = c^2 \Delta m$. В таком случае ситуация кардинально меняется. Излучая гравитоны, тело теряет часть массы, которая идет на образование гравитона и сообщение ему импульса. Если в пространстве между телами (рис. 10.5) происходит не только излучение и поглощение гравитонов (что приводит к расхождению тел), но еще также происходит восстановление массы тела от поглощенных гравитонов ($\Delta W = c^2 \Delta m$), то вследствие этого возникает импульс в обратном (т.е. в сторону второго тела) направлении. В то же время из противоположных сторон взаимодействующих тел такого восстановления не происходит. Таким образом, эффект расхождения тел компенсируется и излучение гравитонов во внешние противоположные направления приводит к сближению тел.

10.3. Экспериментальная проверка существования гравитонов

Если гравитоны взаимодействуют с телом, на которое они попадают, и при этом масса тела восстанавливается в соответствии с формулой $\Delta W = c^2 \Delta m$, то существует возможность установить наличие гравитонов через экранирование их массой. Для этого может быть использован опыт из определения гравитационной постоянной с дополнением, которое дает возможность выявить поглощение гравитонов массой [22]. Ведь если есть взаимодействие, то должно быть также и поглощение частиц, которые являются носителями взаимодействия.

В опыте Кавендиша два шара массами M_1 и M_2 притягиваются между собой (рис. 10.6).

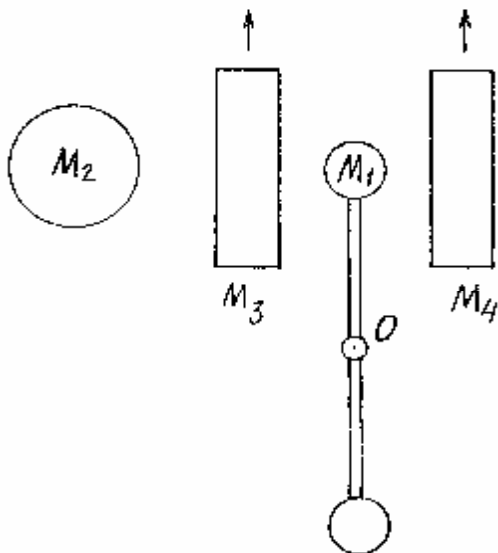


Рис. 10.6

Шар M_1 закреплен на плече и подвешен на упругой нити в точке O , поэтому силу взаимодействия можно определить по закручиванию нити, что и было в 1798 году сделано Кавендишем и определена гравитационная постоянная в соответствии с законом всемирного тяготения

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}.$$

В нашем случае эксперимент имеет то отличие, что масса M_1 экранирована от массы M_2 другой массой M_3 . Для исключения дополнительного притяжения между массами M_1 и M_3 с противоположной стороны от M_1 установлена масса M_4 , которая по размерам и форме такая же, как и масса M_3 (в виде плиты). В данном случае взаимодействие между массами M_1 и M_2 будет происходить через массу M_3 , которая может поглощать часть гравитонов и, таким образом, уменьшать взаимодействие. Поэтому, если сначала шар M_1 установить посередине между плитами M_3 и M_4 , а потом приблизить шар M_2 , то, при наличии поглощения гравитонов, притяжение между шарами M_1 и M_2 будет меньшим, чем в случае, когда экранирование массой M_3 отсутствует.

Таким образом, поставив эксперимент на основе опыта Кавендиша, можно получить информацию о механизме гравитации – притягивании тел путем обмена гравитонами как носителями гравитационного взаимодействия.

Поставив эксперимент
по выявлению поглощения
гравитонов, можно получить
информацию о механизме
гравитации – притяжения
тел вследствие обмена
гравитонами

Литература

1. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков. Физика. Оптика, квантовая физика. 11 класс. – М.: Дрофа. 2002. – С. 152, 222.
2. Physics second edition, expandet. Hans C. Ohanian. Rensselaer politedinic institute. W.w.Norton & company. New York. London. 1988. P. 971-972.
3. И.В. Савельев. Курс общей физики, т. 1. – М.: Наука. 1977. – 416 с.
4. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия. 1983. – С. 507.
5. Л.И. Китайгородский. Введение в физику. – М.: Гос. издат. физ.-мат. лит. 1959. – С. 411- 412.
6. Э.В. Шпольский. Атомная физика, т. 1. – М.: Наука. 1974. – С. 35-38.
7. Л.Б. Окунь. Понятие массы // Успехи физических наук. – 1989. Том 158, вып. 3. – С. 511-530.
8. Л.Б. Окунь. Формула Эйнштейна: $E_o = mc^2$. Не смеется ли Господь Бог" ? // Успехи физических наук. – 2008. Том 178, № 5. – С. 541-555.
9. Г. Спроул. Современная физика. – М. : Гос. издат. Физ.-мат. литературы. 1981. – С. 30.
10. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 3. – М. : Наука.1979. – 304 с.
11. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 2. – М. : Наука.1978. – 480 с.
12. Г.С. Ландсберг. Оптика. – М.: Наука. 1976. – 926 с.
13. Д.В. Сивухин Курс общей физики. Оптика. – М.: Наука, 1985. – 751 с.
- 14.Калитиевский Н.И. Волновая оптика. – Москва: Высшая школа, 1978. – С. 205; 373.
15. Фейнмановские лекции по физике, т. 1. – М.: Мир. 1965. – С. 139.

16. Э.И. Бутиков Оптика. – М. : Высшая школа. 1986. – 512 с.
17. Фейнмановские лекции по физике, т. 2. – М.: Мир. 1965. – С. 34.
18. В.С. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1976. – 464 с.
19. Э.В. Фирганг. Руководство к решению задач по курсу общей физики. – М.: Высшая школа, 1978. – С. 274.
20. А.Н. Волохов, А.А. Воробьев, М.Ф. Федоров, А.Г. Чертов. Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 1968. – С. 293, 297.
21. И.Э. Иродов. Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1979. – С. 207.
22. Хокинг Стивен. Краткая история времени. – Санкт-Петербург : Амфора, 2004. – С. 102.
23. Меллер Х. Теория относительности. – М.: Наука, 1966. – 462 с.
24. Фейнмановские лекции по физике, т. 3. – М.: Мир. 1965. – С. 61.

Авторские публикации по теме книги

1. Коломоець В.В., Сусь Б.А., Сусь Б.Б., Шут М.І. Масо-енергетичні коливання як вираження двоЦстості природи світла / Збірн. наук. праць військов. інст. телекомунік. і інформатиз. Національн. техн. універс. “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2003. – Вип.1. – С. 55.
2. Сусь Б.А., Коломоець В.В., Шут М. І., Сусь Б.Б. Збереження імпульсу фотона при масо-енергетичних перетвореннях / Збірн. наук. праць Військ. інст. телекомунік. і інформатиз. Націон. техн. універс. “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2003. – Вип.3. – С. 150
3. Сусь Б.А., Коломоець В.В., Шут М. І., Сусь Б.Б. Особливості застосування методу графічного додав. амплітуд при дифракціїЦвітла / Збірн. наук. праць Військ. інст. телекомунік. і інформатиз. Національн. техн. універс. “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2003. – Вип. 4. – С. 118.
4. Коломоець В.В., Сусь Б.А., Сусь Б.Б., Шут М.І. Проблемний погляд на двоЦстість природи світла / Матеріали Всеукр. наук. конф. “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики”. – МиколаЦвМДУ, 2003. – С. 3.
5. Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Хвильовий характер хвиль де Бройля / Збірник наук. праць військового інстит. телекомунік. і інформатиз. НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2003. – Вип. 5. – С.155-158
6. Сусь Б.А. Нетрадиційне представлення світлових електромагнітних хвиль як носія інформаціїЦРадіоелектронні і комп’ютерні системи (наук.-техн. журнал). – Харків: “ХАІ”. – 2003. – № 4(4). – С. 164-168.
7. Коломоець В.В., Сусь Б.А., Сусь Б.Б., Шут М.І. Проблемний підхід при розгляді питання двоЦстості природи світла / Збірник наукових праць Уманського державного пед. університету. – К.: Науковий Світ. 2003. – С. 294-300.
8. Сусь Б.А. Дослід Фізо з точки зору квантово-коливноЦ теоріїЦ світла. Збірн. наук. праць військового інституту телекомунікацій і інформатизаціїЦНТУУ “КПІ”. -К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – Вип. 6. – С. 125-129.

9. Коломоець В.В., Сусь Б.А., Сусь Б.Б., Шут М.І. Фотон як особлива частинка двоЦстоЦприроди. Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики / Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавн. відділ НМетАУ, 2004. – Вип.4, т. 2. – С. 394-399.
10. Сусь Б.А. Ефект Доплера з точки зору квантово-коливноЦ теоріЦсвітла / Зб. наук. праць Військового інст. телекомунікацій і інформатизаціЦНаціонального технічного університету “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2004. – Вип. 4. – С. 196-200.
11. Сусь Б.А. Сучасний погляд на проблему двоЦстості природи світла / Проблеми інжен.-педагог. освіти: збірн. наук. праць УкраЦнськоЦнженерно-педагогіч. академіЦ – Харків: УПА, 2004, №7. – С. 133-136.
12. Сусь Б.А. Проблемний погляд на причини і зміст двоЦстоЦ природи світла. “Фізика та астрономія в школі”. – 2004, № 4, – С. 41-43.
13. Сусь Б.А., Шут М.І., Мисліцька Н.А., Заболотний В.Ф. Світло як виявлення двоЦстостіприроди матеріЦ/ Зб. наук. праць Військового інст. телекомунікацій і інформатизаціЦ НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2005. – Вип.1. – С. 160-164.
14. Сусь Б.А., Кошіль А.М. Ефект транспортування елек-тро-магнітних хвиль / Матеріали 2-Цнаук.-практ. конф. “Практичні напрямки розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення: – К. ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2005. – С. 129.
15. Сусь Б.А., Шут М.І. Особливості руху матеріЦ в інерціальних системах координат / Зб. наук. праць Військового інст. телекомунікацій і інформатизаціЦНТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2005. Вип. 2. – С. 26.
16. Сусь Б.А., Шут М.І. До питання поглинання гравітонів масою / Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського держ. університету: дидактика фізики в контексті орієнтирів Болонського процесу. – Кам’янець-Подільський: К-ПДУ, 2005. – С. 263-264.
17. Сусь Б.А., Шут М.І., Січкарь Т.Г. Проблеми дифракціЦ в рамках уявлень двоЦстоЦприроди світла / Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського держ. Університету: – Кам’янець-Подільський: КПДУ, 2006. – С. 232-234.

18. Сусь Б.А., Шут М.І. До питання про різновиди руху матерії / Вісник Чернігівського держ. пед. університету. – Чернігів: ЧДПУ, 2006. Випуск 36(2). – С. 126-130.
19. Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Проблемний підхід при вивченні будови атома / Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – Чернігів: ЧДПУ, 2007. – С. 117-119.
20. Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Хвилі де Бройля з точки зору квантово-коливної природи матерії / Зб. наук. праць Військового інст. телекомунікацій і інформатизації НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2007. – Вип.1. – С. 127-129.
21. Сусь Б.А., Шут М.І., Коломеец В.В., Сусь Б.Б. Непротиворечивое трактование двойственной природы света / Материалы международной научно-практической конф. «Формирование научной картины мира человека XX века». – гг. Бийск, Горно-Алтайск: ПАНИ, 2007. – С. 100-105.
22. Сусь Б.А. Метод графічного додавання амплітуд при дифракції світла з точки зору квантово-коливної теорії світла / Збірник наукових праць за матеріалами конференції «Проблеми фізико-математичної технічної освіти і науки в контексті євроінтеграції» («Вища освіта 2006»). – К.: НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2007. – С. 299-304.
23. Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Співвідношення невизначеності Гейзенберга з точки зору теорії коливного руху матерії / Зб. наук. праць Військового інст. телекомунікацій і інформатизації НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2007. – Вип. №3. – С. 136-139.
25. Сусь Б.А., Шут М.І. Квантово-механічні явища з точки зору теорії коливного руху матерії / Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2008. – Вип. VII. т. 2. – С. 229–233.
26. Сусь Б. А., Шут М.І. Світло як специфічна форма руху матерії / Збірн. наукових праць Уманського державного пед. університету. – Умань: УДПУ, 2008. – С. 282-288.
27. Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А., Сусь Б.А., Проблемний підхід при вивченні явища дифракції електромагнітних хвиль / Наукові записки. – Випуск 77. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2008. – Ч.1. – С. 129-132.

- 28.** Кузьминський О.В., Мисліцька Н.А., Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Обґрунтування механізму гравітації / Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – Чернігів: ЧДПУ, 2009. – С. 283-286.
- 29.** Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Методичні проблеми трактування закону збереження імпульсу при поширенні електромагнітних хвиль / Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського держ. університету. – Кам'янець-Подільський: К-ПДУ, 2009. Випуск 15. – С. 51–52.
- 30.** Сусь Б. А., Шут М.І. Методичні підходи до пояснення явища дифракції / Матеріали III міжнародно науково-практично конференції "Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах: проблеми, пошуки, перспективи". – Львів, 2009. – С. 53-59.
- 31.** Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Методичні підходи до питань релятивістського руху частинок / Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2010. – Вип.VIII, т. 2. – С. 337–342.
- 32.** Б.А. Сусь, В.Ф. Заболотний, Н.А. Мисліцька. Методичні проблеми хвильового і корпускулярного підходів при розв'язуванні задач на тему дифракції світла / Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – Чернігів: ЧДПУ, 2010. – С.312-315.

Рецензия 1

В пособии рассматривается целый ряд важных вопросов физики, которые не имеют простого объяснения, поэтому действительно являются проблемными. Это вопросы релятивистского движения частиц и двойственности их природы, квантовые эффекты, природа электромагнитных волн и в частности света, дифракция, гравитация и прочие. Все эти вопросы рассматриваются с единой точки зрения – двойственности природы материи, что и дает возможность согласовать противоречивые понятия и дать им объяснение. В работе обращается внимание на проблемность рассматриваемых вопросов и дискуссионность выводов. В классической научной литературе при релятивистском движении частиц считается, что масса зависит от скорости, в то же время известны публикации, где такая зависимость отрицается. В пособии дается обоснование, что в действительности при рассмотрении движения в разных системах координат, которые движутся с разными скоростями, масса зависит от изменения скорости.

Оригинальным, проблемным, но логически обоснованным является вывод относительно природы электромагнитных волн, в частности света – что это поток особых частиц, которые находятся в колебательном движении. Причем, предлагается довольно смелая идея относительно природы колебаний фотонов – что это колебания на основе взаимного превращения энергии в массу и наоборот в соответствии с известной из теории относительности зависимостью $W = c^2 m$. Таким же образом объясняются волновые свойства микрочастиц – волны де Бройля. Такой подход побуждает к дискуссиям, что важно для активизации учебного процесса.

Заслуживает внимания, что в пособии на основе квантового подхода дается объяснение явления дифракции и аргументированно показывается, что дифракция – это интерференция, которая выделяется лишь способом получения когерентных источников, которыми являются резкие края препятствия.

Следует отметить также подход относительно объяснения механизма гравитации как взаимодействия через обмен частицами – гравитонами, которые по своей природе также являются волнами де Бройля. Более того – предлагается понятный и доступный эксперимент по выявлению гравитонов.

Конечно, вопросы, которые рассматриваются в пособии, имеют дискуссионный характер, но именно в этом усматривается смысл пособия – побуждать читателя к раздумьям. В пособии подчеркивается, что непривычное видение – это не опровержение традиционных взглядов на проблемные вопросы, а лишь другой подход к описанию того ли другого физического явления или эффекта.

Считаю, что научно-методическое пособие "Непривычное толкование традиционных проблемных вопросов физики" будет ценным для студентов, преподавателей, научных работников, поэтому оно заслуживает опубликования.

Доктор педагогических наук,
профессор кафедры общей и
прикладной физики Национального
педагогического университета
им. Михаила Драгоманова
В.П. Сергиенко

Рецензия 2

В пособии изложена собственная авторская точка зрения относительно вопросов физики, связанных с проявлением двойственной природы света в разных физических экспериментах как фотонов или электромагнитных волн и процессов дифракции света на препятствиях. Однако в пособии отсутствует строгий квантово-механический анализ соответствующих процессов, в особенности связанных с их принципиально новым, непривычным для устоявшихся взглядов видением процесса самовольного преобразования массы элементарной частицы в энергию, которое в пособии трактуется как особый вид колебательной формы существования материи. При этом надо заметить, что такая точка зрения противоречит изложенной в физической энциклопедии ("Физический энциклопедический словарь", - М.: Советская энциклопедия, 1962. - С. 558), где утверждается, что *"Следует считать неверным проникшее в литературу представление в возможности превращения массы в энергию и наоборот. Согласно формуле $W = mc^2$ всякое уменьшение массы влечет за собой уменьшение энергии и наоборот. Возможно только частичное превращение в ходе реакции массы покоя в кинетическую массу и энергии покоя в кинетическую энергию или наоборот"*.

Относительно выдвинутой авторами пособия колебательной модели превращения массы в энергию и наоборот надо также отметить, что как еще подчеркивалось в учебнике В.В. Мултановского (Курс теоретической физики. – М.: Просвещение, 1968), необходимо различать передачу взаимодействия в макромире и микромире. В макромире используется полевая или квазирелятивистская модель материи и взаимодействия: в систему входят тела и непрерывное поле, которое передает взаимодействие между телами. В микромире используется квантово-релятивистская модель: в систему входят микрочастицы, в том числе кванты поля, и поле как способ существования материи, с которым эти кванты взаимодействуют. Причем, в квазирелятивистском приближении число материальных точек в системе и их масса сохра-

няются, тогда как в квантово-релятивистский - число частиц и их масса могут изменяться вследствие взаимодействия.

Тем не менее, мысль авторов имеет право на жизнь. Ее лишь надо подвергнуть более строгому квантово-механическому анализу с применением современных достижений теории и эксперимента из физики элементарных частиц. Можно лишь сожалеть, что авторы еще до написания пособия, не вступили в научную полемику через периодическую физическую литературу с другими учеными относительно взглядов на суть дифракции электромагнитных волн на препятствиях. Целесообразно бы существенно дополнить перечень использованной в пособии литературы.

Все же предложенные подходы побуждают к дискуссиям, которые полезны с точки зрения методики обучения и важные с точки зрения активизации учебного процесса. Еще раз подчеркиваю, что вопросы, которые рассматриваются в пособии, имеют дискуссионный характер, но именно в этом усматривается смысл пособия – побуждать читателя к раздумьям. Более того, в пособии подчеркивается, что непривычное толкование – это не опровержение традиционных взглядов по проблемным вопросам, а лишь другой подход к описанию того определенного физического явления или эффекта. Возможно в свое время так воспринимали взгляды относительно теории относительности и фотонной модели света в фотоэффекте или волновой модели проявления свойств электрона.

Считаю, что пособие "Непривычное толкование традиционных проблемных вопросов физики", с учетом его непривычности, может быть полезным для молодых педагогов и научных работников, поэтому может быть опубликовано.

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры экспериментальной
физики Национального университета
"Львовская политехника" А.В. Франив

Научно-методическое издание

**Непривычное толкование
традиционных проблемных
вопросов физики**

Б.А. Сусь, Б.Б. Сусь

Ответственный редактор Б.А. Сусь

Техническая редакция Михаила Сопивныка

Издательский центр "Провіта",
03150, Киев -150, вул. Анри Барбюсса, 51/2
тел. 529-25-41

Свидетельство № 1800, серия ДК
від 24.05.2004 р.

Подписано к печати .06.11

Формат 60 × 84/16

Условн. печ. лист. 16,0

Тираж 300 экземпляров

Замечания и пожелания просим направлять
по адресу: **bogdansus@gmail.com**

